

مكتبة
مجمع
الخطبة
العلمية
١٩٩٨

مكتبة
مجمع
الخطبة
العلمية

المفهوم الحديث للمكان والزمان

تأليف: ب.س. ديفيز
ترجمة: د. السيد عطا

الأعمال العلمية



الهيئة المصرية
العامة للكتاب

إهداء 2006

ورثة الكيميائي / محمد فاروق الفران
الإسكندرية

**المفهوم الحديث
للمكان والزمان**

المفهوم الحديث للمكان والزمان

تأليف : ب. س. ديفيز
ترجمة : د. السيد عطا



مهرجان القراءة للجميع ٩٨

مكتبة الأسرة

برعاية السيدة سوزان مبارك (الأعمال العلمية)

الجهات المشاركة:

جمعية الرعاية المتكاملة المركزية

وزارة الثقافة

وزارة الإعلام

وزارة التعليم

وزارة التنمية الريفية

المجلس الأعلى للشباب والرياضة

التنفيذ: الهيئة المصرية العامة للكتاب

المفهوم الحديث للمكان والزمان

تأليف: ب. س. ديفيز

ترجمة: د. السيد عطا

عن سلسلة الألف كتاب الثانى

الغلاف:

الإشراف الفنى:

للفنان محمود الهندي

المشرف العام

د. سمير سرحان

على سبيل التقديم

تواصل مكتبة الأسرة ٩٨ رسالتها التثويرية وأهدافها النبيلة بربط الأجيال بتراثها الحضارى المتميز منذ فجر التاريخ وإتاحة الفرصة أمام القارئ للتواصل مع الثقافات الأخرى، لأن الكتاب مصدر الثقافة الخالد هو قلعتنا الحصينة وسلاحنا الماضى فى مواكبة عصر المعلومات والمعرفة.

د. سمير سرحان

الباب الأول

الأدوية العديدة للمكان والزمان

١ - المفاهيم العامة :

تعتمد كلمتا « المكان » (space) « والزمان » (time) من الكلمات الشائعة التي تحمل من المعاني ما قد يجعلها تلتبس على الأذهان . وتحمل كلمة « المكان » معاني الحيز والحجم والمساحة والخلاء ، أما في اللغة الاصطلاحية الانجليزية فغالبا ما يعنى كلمة « space » الفضاء الخارجى . أى المنطقة الواقعة خارج الغلاف الجوى للأرض والتي نحسب انها خواء . بينما هى فى الواقع ليست فراغا تاما . حيث لا تخلو المسافات السحيقة فيما بين النجوم والكواكب من مقدار دقيق على الأقل من المادة . علاوة على كمية كبيرة من الاشعاعات من هذا النوع أو ذاك . ومع ذلك فان كلمة الفضاء تتصل دائما فى الأذهان « بالفراغ » (emptiness) ، أى ما يتبقى بعد زوال كل شئ . ملموس ، وبالتالي يعتبر معظم الناس الفضاء بمثابة الوعاء الضخم الذى يستوعب داخله الكون بما يشمله من مجرات ونجوم وكواكب . وذلك يعنى أن الفضاء لا يزول بوجود المادة ولكنه « يستل » بها .

ويشكل هذا المفهوم للفضاء - أى عدم وجود شئ ملموس - صعوبة لبعض الناس فى فهم سعى العلماء الى وضع النظريات بشأنه ، فما دام الفضاء هو العدم ، أى شئ يمكن أن يقال عنه !

أما بالنسبة للعلماء فمفهوم الفضاء مختلف . ولغرض احتمال الوقوع فى اعتقاد خاطئ . نبادر بالقول بأن النظريات العلمية المتعلقة بالفضاء لا تختص بالفضاء السحيق ، وان كانت خصائص الفضاء الخارجى فى معظم الأماكن تماثل الى درجة كبيرة خصائص الفضاء المحيط بسطح الأرض . ولا شك ان « نيوتن » (Newton) و « لايبنتز » (Leibniz) لم يكونا على دراية بعلم الفلك الحديث عندما بدءا يتفكران فى طبيعة الفضاء .

ويرى علماء العصر الحديث أن الفضاء يتسم ببنية ذات مستويات متعددة . وتعتبر المادة ، وفقا لبعض أفرع الفيزياء الحديثة ، مجرد خلل طفيف في هذه البنية الأساسية . وعلى عكس المفهوم القائل بأن الكون شيء يحتويه الفضاء . يفيد علم الفلك الحديث بأن المادة والفضاء يشكلان معا الكون ، بمعنى آخر يتألف الكون من فضاء ومادة .

ويقف الفضاء اذن على قدم المساواة مع المادة من حيث الانصاف بكنية ملموسة لها خصائصها وبنيتها . وكان اليونانيون القدماء على علم بالكثير من جوانب هذه البنية ، ويشهد بذلك ما صاغوه من مسلمات ونظريات في الهندسة المستوية . ثم اكتشف العالم الانجليزى « اسحق نيوتن » (Isaac Newton) (١٦٤٢ - ١٧٢٧) ، بعد دهر طويل ، المزيد من هذه الخصائص من خلال دراسة « الحركة » أو ما يعرف « بديناميكيا » الأجسام المتحركة بالنسبة للمكان . وقد اعتبر « نيوتن » المكان بمثابة عنصر يمكن أن يؤثر « ديناميكيا » على الأجسام الحقيقية .

وعلى عكس مفهوم الفضاء ككيان ملموس قائم بذاته ومستقل عن المادة ، ثمة عادة قديمة تبعث بعض العلماء والفلاسفة على تحجيم خصائص الفضاء وقصرها على مجرد علاقات بين الأجسام الحقيقية . ويستند المبدأ الذى تقوم عليه هذه المدرسة الى أن التوصل الى أية معلومات بشأن الفضاء ينم عن طريق قياسات ومشاهدات وعمليات رصد تستخدم فيها أجهزة ملموسة وإشارات ضوئية وما الى ذلك . ولا يعدو المكان فى نظر معتنقى هذا الفكر عن كونه مجرد وسيلة لغوية تستعمل للتعبير عن هذه العلاقات، وهم يرون أن العلاقات المكانية بين الأجسام لا تحتاج وجود شيء ملموس قائم بذاته اسمه « المكان » ، الا بقدر ما تحتاج العلاقة بين مواطني بلد ما شيئا ملموسا اسمه « المواطنة » . وسوف نناقش فى فصول قادمة كيف سارت الأمور فى هذه المدرسة فى ظل ما شهدته القرون الثلاثة الأخيرة من تطور فى علم « الفيزياء » .

وإذا كان العديد من الخصائص المنسوبة للمكان (أو للعلاقة بين الأجسام) معروفا لمعظم الناس ويعتبر فى المعتاد من المسلمات ، فهناك خصائص دقيقة لا يعرفها سوى علماء الفيزياء والرياضيات . ويحاول العلماء وضع نماذج رياضية لوصف بنية المكان كعنصر مادي ، غير ان مجرد مقارنة الخصائص الفعلية للمكان مع تلك النماذج - لا سيما لو خلت من بعض المطبات المتعلقة بجانب من الخصائص - يكشف مدى تعقيد هذه البنية واتساع نطاقها . وسوف نكرس القسم القادم لعرض التوضيف الرياضى

الحديث للمكان . ولعل ما سنشهد من كم المفاهيم الرياضية المستخدمة لوصفه بشكل ملائم ينم عن مدى تعقيد بنية المكان كمنصر حقيقي ملموس . ولكن قبل مناقشة هذه النماذج الرياضية لابد من الإشارة الى بعض الاعتبارات المتعلقة باستخدام كلمة « الزمان » .

تختلف تجربة الانسان بشأن الزمان عنها بالنسبة للمكان . فالزمان يعد بشكل ما واحدا من أبسط مظاهر حياة البشر ، انه ينساب تلقائيا الى عمق وعينا فيحدد مداركنا ومواقفنا ولتتنا . ويتسم الزمان بأن بنيته تحتل أبسط المراقب الأساسية ، على عكس المكان الذي ترقن بنيته بالمشاهدة والقياس والتجرد بعيدا عن المؤلف . ولذلك ، فنحن نحصل على المعلومة المتعلقة بالمكان اما في المعمل أو بالحواس الخارجية بينما تلج المعلومة المتعلقة بالزمان عبر « باب خلفي » اضافي الى الأذهان مباشرة . ويمكن وصف بنية الزمان خلال هذا الباب الخلفي بأنها انسياب أو تدفق متواصل بين الماضي والمستقبل يحمل معه ضمايرنا وتجاربنا من اللحظة الحالية الى اللحظة التالية . واذا كان المكان يرتبط في ذهن البشر بالفراغ ، فان الزمان يجسد الحركة والنشاط الدائنين .

ومرة أخرى تختلف الصورة العلمية للزمان اختلافا جذريا عن صورة المكان . ونظرا للتباين التام بينهما كمجالين للممارسة البشرية ، فان الربط بأي شكل جوهري بين الزمان والمكان قد لا يبدو أمرا بديهيا . غير أن علماء الرياضيات لهم رأى مختلف ، حيث ان وصفهم للزمان يكاد يتماثل مع وصفهم للمكان ، فضلا عن أن الحركة تعد حلقة وصل بين الزمان والمكان ، بل ان دراسة حركة الأجسام والاشارات الضوئية تكشف عن ان المكان والزمان ما هما في الواقع الا مظهرين لبنية وحدة تسمى المكان - الزمان .

ومما يبعث على الدهشة في علم الفيزياء ، بل ويشكل لغزا محيرا ، أن وصف الفيزيائيين للعالم المادى الملموس يخلو من هذا التوصيف البسيط للزمان المتمثل في انسياب أو انتقال اللحظة الحالية . ولا أحد يعرف على وجه اليقين ما اذا كان ذلك مبعثه خلل في منهج الفيزياء ، الفئ يكرس أهمية كبرى لدور الفكر المنطقي في الكون ، أم انه يعزى الى ان مرور الوقت يعد نوعا من الوهم . وأيا كان الأمر فان هذا الاحساس العميق بالزمان يضفى على « أعمال العنف » التى يتعرض لها تصورنا الفطرى للزمان من جراء النظريات الحديثة ، من قبيل نظرية النسبية ، قدرا اكبر من الخلل قياسا « بالضربات » الماثلة التى يتعرض لها المكان . ونتيجة لذلك تجتاح العقل ، وما يدور فيه من فكر متعلق بالزمان ، موجات من الجدل الفلسفى

العميق تصل الى حد الشطط جارفة في طريقها بعض القضايا الفكرية مثل حرية الارادة والموت . ويسفر ما يدور في عقولنا من تناطح بين العالم العلماني والعالم الميتافيزيقي عن نشوب نوع غريب من الصراعات المعويصة .

١ - ٢ النماذج الرياضية للمكان :

تقتضى أية نظرية علمية وضع نموذج (model) للظاهرة التي تتحدث عنها . ولكي يكون هذا النموذج مفيدا ، ينبغي أن يتسم بتوصيف رياضي . وفيما يتعلق بالمكان فان بناء أى نموذج له درجة معقولة من التناطح مع الواقع ، يستوجب الأخذ في الحسبان بعدد كبير من المفاهيم الرياضية . وتبادر بطلانة القارىء الى اننا لن نتطرق في هذا الكتاب الا الى لمحة بسيطة عن هذه المفاهيم بما يعيننا على فهم النماذج . ولعل تأمل هذه المفاهيم ينم عن مدى ما يتسم به « المكان » في واقعه من طبيعة مميزة .

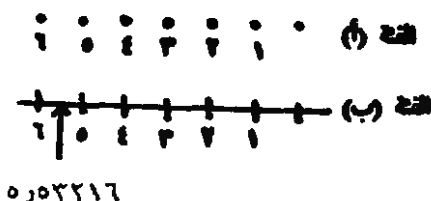
وتستخدم كلمة « مكان » في علم الرياضيات للتعبير عن أى تجمع من النقط . وتمثل النقطة ، وفقا للنموذج الرياضي « للمكان » ، جسما ابتدائيا ، ويمكن تعريفها بأنها المنتهى الذى تؤول اليه دائرة صغيرة ، عندما تقترب قبة نصف قطرها من الصفر ، ليس للنقط اذن مقاس ولا امتداد ولا عتق داخل . وتقوم أية بنية للمكان على تجمع من النقط وليس على نقط منفردة .

ولا شك أن أى نموذج رياضي للمكان يحتمل أن تكون له أغراض متعددة ، فقد يستخدم في وصف أو حل أنواع عديدة من المسائل الخاصة بفروع أخرى من علم الرياضيات أو قد يكون مجرد وصف ذاتي . وثمة أنواع كثيرة من النماذج الرياضية المستخدمة في الحياة اليومية للتعبير عن مختلف صور « المكان » ، نذكر منها الرسم على سبيل المثال . فالورقة التي يرسم عليها المرء هي فئة من النقط ، والرسم نفسه هو فئة جزئية تصور نوعا ما من العلاقة ، شأنها في ذلك شأن تغير ميزان المدفوعات القومي مع الوقت . وقد يعبر ايضا النموذج الرياضي للمكان عن مكان حقيقي ملموس يتجاوز مجرد مجموعة من النقط . والواقع اننا نحتاج عدة مستويات متزايدة التعقيد لوصف التركيبات المختلفة لتجمع النقط حتى تتضح المعالم والخصائص المألوفة للشكل الحقيقي للمكان ، بل قد يستوجب الأمر درجة أكبر من ذلك في تعقيد البنية : حتى يتسنى لنا وضع وصف ملائم لبعض الخصائص الغريبة التي كشفت عنها الفيزياء الحديثة .

وسوف نتناول بإيجاز فى هذا القسم ، مختلف مستويات التصعيد الوصفى التى ينبغى أن تتخذها تجمعات النقط فى سبيل الوصول الى نموذج مقبول للمكان الحقيقى . وان مجرد تحديد المعالم التى ستمثل المكان الحقيقى فى النموذج الرياضى ، هى مسألة مرهونة بالنظرية المطروحة بشأن هذا المكان . وفى جميع الأحوال هناك بعض المعالم أو الخصائص الأساسية المشتركة فى معظم النظريات وهى :

(١) التواصل (continuity)

من خصائص المكان أنه يمكن تجزئته بشكل متوال الى أقسام أقل فأقل بلا حدود ، غير أن تلك مسألة نظرية بحتة لانه لم يتم التوصل حتى الآن الى ما يمكن أن يحدث داخل مسافات تقل عن 10^{-13} سم . ومع ذلك فغالبا ما يؤخذ بالافتراض القائل بقابلية الانقسام بدون حدود . وهذا يعنى انه يمكن اعتبار المكان تجمعا لانهاثيا من النقط المتراسة بدرجة من القرب بحيث تضى عليه صفة التواصل . وينبغى أن تشير فى هذا المقام الى أن هذا الوصف انما هو مستخدم لتقريب المسألة الى الفهم لأن سمة التواصل (continuity) تعد مفهوما على درجة كبيرة من التعقيد حتى ان علماء الرياضيات لم يفهموه بشكل صحيح الا فى القرن الماضى فقط أو نحو ذلك . ومع هذا ، فمن البداهى - أن الخط المتصل يحتوى على عدد أكبر من النقط مقارنة بصف مكون من عدد لا حصر له من النقط (انظر الشكل ١ - ١) حتى مع اعتبار أن عدد النقط فى الحالتين غير محدود . ولالقاء مريد من الضوء على هذا النباين ، يمكن القول بأن - النقط المنفردة المتراسة فى صف يمكن ترقيمها بأرقام صحيحة ١ ، ٢ ، ٣ ، ٠٠٠ ، ولا ينطبق ذلك على الخط المتصل حيث ينبغى أن توضع الكسور فيما بين الأرقام الصحيحة (مثل النقطة ٥٣٢١٦ر٥) حتى يكون الترقيم كاملا :



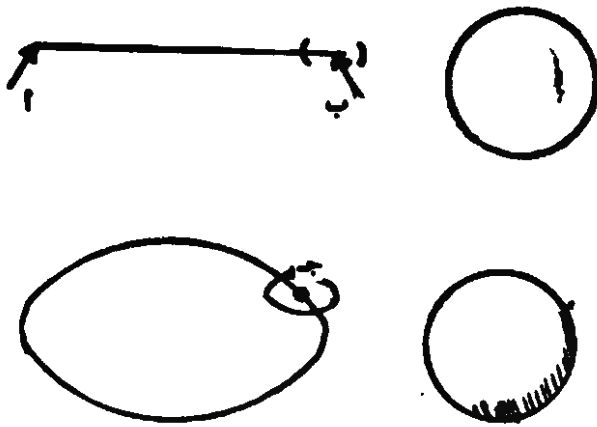
الشكل (١ - ١) مفهوم خاصية التواصل : اذا امتنعت الفئة (١) بدون توقف يمينا (او يسارا) فسوف تتضمن عددا غير محدود من النقاط المنفردة التي يمكن ترميزها بأرقام صحيحة ١ ، ٢ ، ٣ ، ٠٠٠ أما الفئة (ب) المتمثلة في خط ، فهي أيضا تحوى على عدد لا نهائى من النقاط حتى لو كان طول الخط محدودا ، ولكن النقاط في هذه الحالة تكون « متلاصقة » بحيث يخال أنه ليست هناك « فراغات » فيما بينها : ويقال هنا ان الخط « متصل » . والواقع أنه ليس هناك عدد كاف من الأرقام الصحيحة يتيح ترميز كل النقاط التى يحتوئها الخط . الفئة (ب) اذن تتضمن عددا اكبر من النقاط مقارنة بالفئة (١) .

ويتسم المكان المتصل ، أو ما يسمى بإيجاز « المتصل » ، بأن كل نقطة فيه لها جوار ، ومهما كان هذا الجوار صغيرا فهو ما زال يحتوى على عدد لانهاى من النقاط الأخرى - علاوة على ذلك ، فمن شأن أية نقطتين متباينتين أن يكون لكل منهما جوار غير متداخل مع جوار النقطة الأخرى .

(ب) التعدد البعدى (dimensionality)

ومن الخصائص المعروفة للمكان الحقيقى الواقعى ، والتي يتصف بها « المتصل » ، ما يقال من أنه ثلاثى الأبعاد (Three dimensional) . ولعل أبسط طريقة لفهم هذا المصطلح هي أن نبدأ بالنقطة ، وهى التى تعرف بأنها بنية هندسية عديمة الأبعاد . ومن هذا المنطلق يمكن استخدام النقاط لتشكيل « حدود » المكان « أحادى البعد » .

ولنضرب مثلا لذلك بخط مستقيم محدود الطول ، ان هذا الخط محدود من طرفيه بنقطتين هما نقطة البداية ونقطة النهاية . والخط بالتالى (وهو أحادى البعد) يمكن أن يستخدم ليشكل حدود المكان ذى البعدين ، فالدائرة أحادية البعد تحدد القرص ، وهو ذو بعدين ، من طرفيه ، ثم يمكن بعد ذلك استخدام سطح ثنائى الأبعاد كحد لحجم ثلاثى الأبعاد وهلم جرا . تستند اذن مقولة « المكان ثلاثى الأبعاد » الى ترتيب التدرج وفقا لهذا



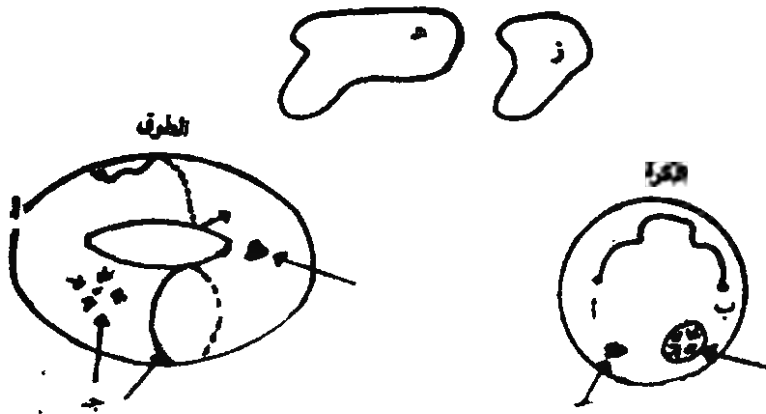
الشكل ١ - ٢ : الحدود والتعدد البعدى - يعد الخط المستقيم مكانا
أو محلا هندسيا أحادى البعد تحده النقطتان أ و ب ، وأى جوار لهاتين
النقطتين (العلامة) () ، مهما كان صغيرا ، فإنه يحتوى على عدد
لا نهائى من النقط - منها ما ينتمى للمحل ومنها ما لا ينتمى له - أما
الدائرة فهي تعد محلا أحادى البعد ولكن بلا أطراف ، وبالتالي لا تتميز
أى من نقاطها بخاصية الجوار مثل الخط -

ومثلما أن النقطتين (أ) (ب) ذواتى البعد صفر تشكلان حدود
الخط المستقيم فإن الدائرة أحادية البعد تشكل حدود القرص لذاتى الأبعاد
ويوضح الرسم النقطة الحدودية (ج) وجوارها - وفى المقابل فإن سطح
الكرة ليست له نقط حدودية ! الكرة إذن تعد محلا لثنائى الأبعاد بدون
حدود - ويمكن لهذا المنطق أن يتوالى لآى عدد من الأبعاد -

التسلسل - والواقع أن علم الرياضيات لا يعرف حدا لعدد الأبعاد التى يمكن
أن يتصف بها المكان - ويؤكد ذلك أن واحدا من أفرع الرياضيات المهمة ،
والمستعمل فى تطبيقات فيزيائية ، يستخدم نماذج أماكن ذات عدد لانهائى
من الأبعاد ! ولا أحد يعرف لماذا يعد المكان الحقيقى ثلاثى الأبعاد - وقد
يكون من المفيد دراسة خصائص عوالم يكون فيها المكان ثنائى أو سداسى
الأبعاد على سبيل المثال ! وقد تبدو بعض الظواهر أحيانا - مثل انتشار
الموجات أو الظواهر الكهربائية - مختلفة اختلافا كبيرا فى هذه العوالم
الوهمية -

(ج) الاتصال (connectivity)

وليس هناك سبب يفسر لماذا لا يتكون الفضاء الحقيقي من عدد من الأجزاء المنفصلة . وعلى أية حال فنحن لا نعرف منطقة في الفضاء منقطعة عن عالمنا ولذلك لن نتوقف عند هذا السؤال . ومع ذلك فحتى المكان الواحد يمكن أن يكون متصلا بعده طرق مختلفة ، فكل من سطح الطوق على سبيل المثال و سطح الكرة (الشكل ١ - ٣) يعد مكانا متصلا ، بمعنى انه يمكن ربط أية نقطتين فيه ببعضهما بواسطة منحنى متصل يقع كله في هذا المكان ، ورغم ذلك نختلف طريقة الاتصال في الحالتين . ومن بين طرق التدليل على ذلك أن منحنى بسيط مغلق (دائرة على سبيل المثال) على



الشكل ١ - ٣ : الأماكن ثنائية الأبعاد المتصلة والمنقطعة . يوضح الشكل الأعلى أن النقطتين (هـ) و (ز) لا يمكن الربط بينهما بخط متصل يقع كله داخل مكان واحد ، وهذا هو المكان المنقطع . وعلى النقيض من ذلك فإن كل الأجزاء الموجودة على سطح الكرة أو الطوق تعد متصلة ولكن ثمة اختلافا فيما بين الحالتين : فمن شأن أية دائرة على سطح الكرة (مثل الدائرة (ج)) انها يمكن أن تنكمش حتى تصبح نقطة . أما في حالة الطوق فينسحب ذلك على الدائرة (ج) ولكن لا ينطبق على الدائرة (د) ، ولذلك يقال أن الكرة بسيطة الاتصال والطوق متعدد الاتصال . ويمكن للمنطبق على سطح هذه الأماكن المتصلة أن يستنتج بسهولة أوجه الاختلاف بينها . وما إذا كان الاتصال فيها بسيطا أم متعددا ، محدودا أم غير محدود ، وذلك دون أن يحتاج أن يغادر المسطح ليرى بشكل مجسم ثلاثي الأبعاد كيف أن الكرة أو الطوق كائن في حيز ثلاثي الأبعاد .

نفس هذه الملاحظات تنطبق على الكون ثلاثي الأبعاد الذي نعيش فيه .

سطح الكرة يمكن أن يتصلص حتى يصل الى نقطة ، غير أن ذلك لا ينسحب بالضرورة على حالة الطوق . ولا ندرى ما اذا كان الكون الذى نعيش فيه هو على هيئة سطح كرة أم طوق أم نظام آخر أكثر تعقيدا . وعلى أية حال فإن الكون ، فى المنطقة التى نراها ، يبدو متصلا مثل سطح الكرة .

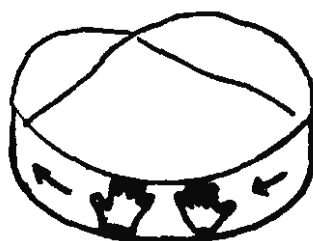
وقد يقع القارىء عند هذه المرحلة فى حيرة ، اذ كيف نقاش بالمنطق مكانا حقيقيا مفترضين أنه على هيئة طوق أو على هيئة أجزاء منفصلة ، ولو كان الأمر كذلك فماذا يوجد « خارج » هذا المكان ؟ ما الذى يملأ الثقب الذى يتوسط الطوق ؟ الخ ؟ واذا جاز أن نقاش نماذج رياضية للمكان ، مبنية على أساس أن الأسطح ثنائية الأبعاد موجودة على هيئة طوق ، ولما كان ذلك لا يأتى الا اذا كان الطوق موجودا فى غلاف ثلاثى الأبعاد ، فما هو المكان « الخارج » (من حيث التعدد البعدى) ، الذى يمكن أن يغلف المكان الحقيقى ؟ لا شك أن مثل هذه المسائل بشكل دائما قدرا من المصاعب الفكرية بالنسبة لغير المتعمقين فى علم الرياضيات .

ويعرف المكان بما يسمى به من خصائص . وقد تكون هذه الخصائص ، أو بعضها ، على درجة كافية من الدقة تغنى عن الحاجة الى الاستعانة بغلاف مكانى يحيط بالمكان المعنى . ولو ان شخصا على سبيل المثال منبطح على سطح ما (والسطح ثنائى الأبعاد) ، فبوسعه أن يستنتج بمجرد المشاهدة من على هذا السطح ، ما اذا كان منبطحا على سطح طوق أو كرة ، وذلك بأن يختبر فى ذهنه على سبيل المثال هل كل اللوثر التى يمكن رسمها على هذا السطح ستؤول الى نقطة اذا انكمشت ، أم لا . وليست هناك صعوبة على الصعيد الرياضى فى مد المناقشة الخاصة بسطح حلقى ثنائى الأبعاد الى حجم حلقى ثلاثى الأبعاد دون اعتبار « للغلاف المكانى » الذى يحتويه . ومع ذلك ، فمن المفيد فى بعض الأحيان تصور مكان مغلف ذى عدد أكبر من الأبعاد عن المكان المعنى ، حيث يساعد ذلك على الاستدلال ، غير أنه لا ينبغي لأحد أن يتوقع أية مناقشة بشأن طبيعة هذا الغلاف ، فما هو الا غلاف وهمى .

(د) الاتجاه (orientability)

وكثيرا ما سنلجأ ، لسهولة العرض ، الى مناقشة خصائص المكان الحقيقى ثلاثى الأبعاد بتمثيله بنماذج ثنائية الأبعاد مطبورة فى مجال مكانى ثلاثى الأبعاد ، فمن شأن مثل هذ التمثيل أن ييسر مناقشة خاصية أخرى مهمة عادة ما يفترض أنها صحيحة بالنسبة للمكان الحقيقى ، وهى خاصية

الاتجاه . فمن المعروف أن قفاز اليد اليسرى لا يمكن أن يتحول إلى قفاز يد اليمنى مهما لويناها أو قلبناه (إلا إذا قلب من الداخل للخارج) . علاوة على ذلك فسوف نفترض بصفة عامة أن اتجاه اليد في القفاز لن يتغير حتى لو نقل القفاز إلى منطقة بعيدة في الكون ثم أعيد ، أى أن قفاز اليد اليسرى لن يعود قفاز يد اليمنى . غير أن علماء الرياضيات كثيرا ما يصادفون أنماطا لأماكن يحدث فيها مثل هذا التغير في الاتجاه . ونسوق مثالا لذلك شريحة موبوس (المسماة بهذا الاسم تكريما لعالم الفلك والرياضيات الألماني أوجوست . ف . موبوس (August F. Mobius) ، (١٧٩٠ - ١٨٦٨) وهي تعد مكانا ثنائى الأبعاد ويمكن تقريبها إلى الأذهان برسمها مطبوعة في مكان ثلاثى الأبعاد على نحو ما هو مبين في الشكل (١ - ٤) . أنها عبارة عن شريحة بها لية واحدة بحيث يتحول فيها قفاز اليد اليسرى إلى قفاز يد اليمنى لو نقل عبر منحني مغلق يدور حول الشريحة (حذر الإشارة إلى أن هذا القفاز يعد بالطبع ثنائى الأبعاد ، أى لا تميز فيه بين « وجه » و « ظهر ») . ويمكن وضع نماذج رياضية خالية من هذا القيد ، للاماكن ثلاثية الأبعاد المناظرة لشريحة موبوس . وتعد شريحة موبوس إذن مكانا عديم الاتجاه . وليس هناك أى دليل على أن الكون الذى نعيش فيه يتسم بهذه الصفة .



الشكل ١ - ٤ : المكان عديم الاتجاه . تقسم الشريحة موبوس بخاصية غريبة تتمثل في أن قفاز اليد اليسرى يتحول إلى قفاز يد اليمنى إذا دار دورة كاملة حول الشريحة (لا فرق هنا بين وجهى القفاز) .

وتعد الخصائص سالفة الذكر خصائص طوبوغرافية ، أى تنتمى دراستها لعلم الطوبوغرافيا (topology) ، وهي ترتفع بخاصية تواصل المكان فقط ولا علاقة لها بأية خصائص أخرى مثل الحجم أو الشكل التفصيلي الدقيق . وحتى عند هذه المرحلة يتبين أن المكان الحقيقي له عده كبير من البنيات التى تتجاوز مجرد وصفه بأنه « فئة من النقاط »

(set of points) ، وانها بيئات ترتبهن بخصائص التواصل والتعدد البعدى والاتصال والاتجاه . بخلاف عدد آخر من الخصائص الرياضية التي تتجاوز مجال هذا الكتاب .

وجتى مع هذه القيود ، من الوارد بناء نماذج رياضية للمكان تختلف كثيرا فى خصائصها عن المكان الحقيقى . وثمة مزيد من القيود المهمة التى يتبقى فرضها من أجل التوصل الى نماذج معقولة للكون الحقيقى . وتعد طريقة تحديد موقع النقط - سواء بعلامات متصلة أو بالاحداثيات - واحده من أبرز الخصائص العملية البسيطة للكون . ولنضرب مثلا شائعا لذلك وهو طريقة تعيين موقع مدينة عن طريق تحديد خطى الطول والعرض لها ، وهما رقمان يحددان النقط بشكل متصل على السطح الأرضى ثنائى الأبعاد . ويمكن وضع نظام من ثلاثة أرقام تحدد على سبيل المثال الطول والعرض والارتفاع ، لتعيين موقع الأجسام فى الفضاء . وترتبهن قيمة هذه الأرقام الثلاثة بنوع النظام الاحداثى المستخدم . فلو نقل على سبيل المثال موقع البداية بالنسبة لخطوط الطول من جرينيتش الى باريس ، فسوف يتغير واحد من الرقمين اللذين يحددان مواقع المدن فى العالم . وقد نختار طريقة أخرى لتحديد المواقع على سطح الأرض وذلك بأن نحدد اتجاهاتها ومسافاتها من مدينة معينة ، ولكن مكة مثلا . وقد يقتضى الأمر الاستعانة بأكثر من نظام احداثى واحد لتغطية المكان كله بشكل دقيق . فلا يصلح على سبيل المثال نظام خطوط الطول والعرض لتحديد المواقع القريبة من القطبين . ولا بد فى حالة الحاجة الى أكثر من نظام احداثى واحد ، من بناء علاقة دقيقة بين النظم الاحداثية المستخدمة . ويسمى المكان المتسم باحداثيات متصلة متناغمة « جامع » ، (manifold) .

ويتسم المكان الحقيقى ، علاوة على كونه جامعا ، بأن له بنية هندسية (geometrical structure) ، وتشتمل هذه البنية على عدد من المعالم نذكر منها أقصر طريق بين نقطتين والزوايا والمسافات . وتسمى الأماكن التى تتسم بهذه المعالم « الأماكن المترية » ، وهى تنقسم الى أنواع عديدة . وكان الناس (باستثناء قلة من علماء الرياضيات) يفترضون أن الكون الحقيقى هو مكان مترى لا يخضع الا لقواعد الهندسة المستوية الاقليدية التى وضع مبادئها العالم اليونانى القديم اقليدس (Euclid) . ويقول النظام الاقليدى بأن مجموع زوايا المثلث تساوى 180° ، وانه بالإمكان دائما رسم خطوط متوازية . وتلك هى الهندسة المستوية التقليدية التى تدرس فى المدارس ، غير أننا سنرى أن النظريات الحديثة بشأن المكان تنطوى على وجه التحديد ، على خاصية امكان تغير البنية المترية من موقع لآخر ومن زمان لآخر ، وذلك يعنى أن مبادئ الهندسة الاقليدية لم تعد تصلح للتطبيق فى هذا المجال .

وقبل أن نهى منافسة الخصائص الرياضية للمكان الحقيقي لابد من ذكر كلمة بشأن الزمان والمكان / الزمان . ولا شك أن الزمان يشارك المكان في العديد من خصائصه . فالخصائص الطبوغرافية ، مثل التواصل والاتجاه والاتصال ، واحدة على الأرجح ، وإن كان الزمان يعدداً بعد واحد وليس ثلاثة أبعاد كشأن المكان . وهو يتسم كذلك ببنية مترية إذ يمكن تعريف المسافة بين نقطتين من حيز الوقت بأنها المدة بين حدثين (من الساعة الواحدة الى الساعة الثانية مثلاً) . وبعثت هذه الأسباب على اعتبار الزمان مكاناً مترياً رياضياً أحادى البعد . ولا ينبغي أن يؤدي ذلك الى إرباك القارئ أو الى دفعه الى الاعتقاد بأن الزمان هو مكان حقيقي في صورة مقبلة مستترة أو أى شيء من هذا القبيل . علاوة على ذلك فلقد ثبت أن توحيد الأبعاد الثلاثة للمكان والبعد الواحد للزمان في إطار « مكان - زمان » رباعى الأبعاد ، يتسم أيضاً بصفة المترية . ويعطى نتائج أدق ، وبالتالي سوف نستخدم دائماً كلمة « المكان » فى السباق الرياضى ، لتغطية جوانب كل من المكان الحقيقي والزمان أو الزمكان .

١ - ٣ المكان والزمان فى المفهوم النيوتونى

ولقد اكتشف العلماء اليونانيون القدماء الخصائص المترية للمكان بالقرب من سطح الأرض ودرسوها بقدر كبير من التفاصيل . وجاءت الهندسة المستوية الاقليدية بتعريفاتها ونظرياتها معبرة وشاملة لهذه الخصائص « الاستاتيكية » . غير أن الخصائص « الديناميكية » للعالم لم تتناولها نظرية رياضية ثابتة ، الى أن جاء « اسحق نيوتن » فى القرن السابع عشر ، فكان له السبق فى وضع « نظرية حركة » الأجسام المادية . ولأن مسار الجسم المتحرك هو مكان يقطع فى زمان ، كان لزاماً أن تربط هذه النظرية بين المكان والزمان فى سلسلة من القوانين . وهكذا اكتشف « نيوتن » العلاقات الرياضية البسيطة التى تحكم حركة الأجسام الصلبة النموذجية . ولقد نحت هذا العمل الرائع بنية علم الطبيعة الذى استمر قروناً بعد ذلك .

وقد اقترح « نيوتن » نموذجاً للمكان باعتباره مادة مستقلة تتحرك خلالها الأجسام المادية والاشعاعات تماماً مثلما تسبح الأسماك فى الماء .

وذلك يعنى أن كل جسم ينفرد بمحل واتجاه فى المكان الذى يحتويه ، وأن المسافة بين حدثين معروفة تماما حتى لو وقع الحدثان فى توقيتين مختلفين .

ويستند مفهوم «نيوتن» للزمان بشدة على فكرة التزامن (simultaneity) ويتسم الزمان فى هذا النموذج بأنه عام ومطلق . وتضمنى صفة العمومية على الأحداث المتزامنة (أى التى تقع فى توقيت واحد) معنى امكان وقوع هذه الأحداث فى مواقع متفرقة من المكان ، أى أن الساعة الثانية عشرة فى لندن على سبيل المثال تعد الثانية عشرة فى جميع أنحاء العالم (حتى لو اطلق عليها الساعة فى نيويورك ، فذلك من قبيل الاصطلاح المتفق عليه ، المهم انها تعنى اللحظة نفسها وفقا لنظرية نيوتن) . وتقتضى تلك النظرية أيضا أن يظل المكان والزمان مطلقين ، أى يتسمان بالاستقرار والثبات بغض النظر عن مسلك المحتويات (الأجسام المادية) . ويعتبر « نيوتن » كذلك ، على نحو ما سنرى لاحقا ، ان المكان يمكن أن يؤثر على المادة فى ظل بعض الظروف بينما لا تؤثر المادة عكسيا على المكان .

ولما كانت نظرية « نيوتن » تعتبر ان المكان هو مادة مستقلة فانها تصطدم مع المدرسة العلاقاتية التى ترى ان المناقشة المكانية والزمانية ما هى الا تعبير لغوى ملائم لوصف العلاقات بين الأجسام المادية . ومن هذا المنطلق فإن اعتبار المكان كيانا ماديا يعد ضربا من العته ، تماما مثلما نصف « جو الكآبة » الذى يلى الممارك بأنه عنصر مادي ملموس . فالقول بأن الناس مكتئبون نتيجة جو التوتر السائد بعد المعركة ان هو الا تعبير لغوى يقصد به انهم مكتئبون نتيجة الحالة المعنوية التى يعيشها المقاتلون بعد المعركة . وما من أحد يقول ان هذا « الجو » الثقيل موجود بشكل مستقل عن المقاتلين بحيث يمكن قياسه بأى نوع من الأجهزة ! وبالتالي لا يمكن اعتبار المكان مادة ملموسة الا اذا أمكن رصده أو اذا كانت له تأثيرات مادية ملموسة . كيف يمكن على سبيل المثال تحديد موقع جسم ما فى المكان ، بينما المكان ، حسب تعريف هذه المدرسة له ، هو شئ عديم السمات والمالم ؟ وفى المقابل فانه بوسعنا تحديد موقع جسم ما « بالنسبة » لفئة من الأجسام الأخرى ، فيمكن مثلا استخدام خطوط الطول والعرض لتحديد بعد موقع ما من خط جرينيتش وخط الاستواء على التوالى . علاوة على ذلك فما من سبيل للاستدلال على الخصائص الهندسية للمكان الا عن طريق الرصد باستخدام أدوات مادية وإشارات ضوئية ، فمن اليسير مثلا التحقق بدرجة عالية من التقريب من أن مجموع زوايا المثلث يساوى ١٨٠° لو استخدمنا جهاز مزاوة وعمودا مدرجا ، فهل كان سيتسنى لنا استنتاج هذه الخاصية لو

كنا في مكان خلاء ؟ ورغم أن المحيط متماثل في شتى بقاؤه ، ليس ثمة لبس في وجوده ككيان مادي مستقل حيث يمكننا الإبحار « عبره » والشعور بمقاومته . فهل يسفر تحرك الأجسام عبر المكان عن تأثيرات ملموسة ؟ وهل يؤثر المكان على الجسم المتحرك بنفس الطريقة التي يؤثر بها البحر على سكة متحركة ؟

أما في النموذج « النيوتوني » للمكان والزمان فان مناقشة « سرعة » جسم يتحرك في المكان تعد مسألة ذات معنى ، فالسؤال القائل : « بآية سرعة تتحرك ؟ » هو سؤال شائع ومفهوم وله رد منطقي . ومن البدهي أن يقول المرء الجالس في غرفة معيشته انه ساكن لا يتحرك ، ولكنه لو تفكر قليلا فسيذكر انه في الواقع يدور مع الأرض حول الشمس ، فما هي سرعة الأرض ؟ ولا يمكن الإجابة على هذا السؤال الا اذا علمنا بآية سرعة تحرك الشمس ، فالشمس تدور في واقع الأمر حول المجرة . ولا يقف الأمر عند هذا الحد ، حيث ان جميع المجرات المعروفة تبتمد عن بعضها في اطار عام من التمدد ، الكون اذن يوج بالحركة . ولكن هل ثمة شيء ثابت لا يتحرك في الكون ؟ وكيف يمكن تحديد مثل هذه الحالة من الثبات ؟

ولقد ساد اعتقاد على مدى قرون بأن الأرض ثابتة لا تتحرك في الكون وأن الشمس والقمر والنجوم تدور حولها بانتظام بالغ الدقة . غير ان نيكولاس كوبرنيكوس (Nicholas Copernicus) (بولندي ١٤٧٣ ، ١٥٤٣) دمر هذه الفكرة المريحة التي تضع الانسان في مركز الكون ، وأثبت أن الشمس تقع في مركز المجموعة الشمسية وأن الأرض تدور حولها . ولم يبرا الانسان منذ ذلك الحين من الصلعة الفكرية التي أصابته من جراء فقدان الأرض لوضعها المتميز .

ويجد الأطفال الصغار صعوبة في تقبل فكرة تحرك الأرض ، لانه ليس ثمة ما يجعل المرء يشعر بأنها تتحرك . وقد نفهم جانباً مهماً من طبيعة الميكانيكا لو حددنا أنواع الحركة التي يشعر بها الانسان . فلو أراد راكب في طائرة أن يعرف ما اذا كان محلقاً في الجو أو مرابطاً على الأرض ، ما عليه الا أن ينظر من النافذة ، أما لو كانت الطائرة بلا نوافذ فلن يكون متيقناً من وضعه . غير أن أياً من عمليتي الاقلاع والهبوط أو ما تتعرض له الطائرة من متطلبات هوائية كفيلاً بأن يقنع الراكب بأنه محلق في الهواء . ومع ذلك ، نحس هذا الانطباع يمكن أن يزول لو كان تحليلق الطائرة يتم في انسياب . وعلى صعيد آخر ما أسهل أن ينخدع الانسان بالاحساس بالحركة ، فمن منا لم يشعر ذات مرة وهو مسافر بالسكة الحديد أن القطار بدأ يتحرك ثم يفاجأ بعد برهة بأنه لم يبرح مكانه وان قطارا آخر على سكة موازية هو الذي كان يتحرك في عكس الاتجاه !

وبتعميم هذه التجارب يتضح أن الاحساس بالحركة لا يحدث الا اذا كانت الحركة غير منتظمة . فالراكب فى الطائرة سوف يشعر - حتى لو كان اعمى ، باية مطبات أو أى تغيير فى السرعة أو الارتفاع أو الاتجاه . كذلك فان وصلات عربات القطار كفيفة ، بما تتعرض له من شد وجذب ، باقناع الراكب بما اذا كان قطاره هو الذى يتحرك أم القطار الآخر . ولعلنا نقول بشئ أكبر من الدقة ان المرء لا يشعر فى المعتاد بالحركة ذات السرعة المنتظمة (أى التى تجرى بدون تغيير فى السرعة أو الاتجاه) ، ولكنه يشعر بالحركة « المتعرجة » (accelerated) أى ذات السرعة المتزايدة (أو المتناقصة بالطبع) .

وقد وضع « نيوتن » هذه الاعتبارات فى اطار علمى محكم بأن صاغ قانونه المعنى بحيث لا يرتهن بسرعة الأجسام وانما بعجلتها فقط ! لقد اراد أن يقول بذلك انه لو تحرك جسمان حركة منتظمة ولكن بسرعتين مختلفتين فليست ثمة تجربة يمكن أن تفيد بما اذا كان أحدهما يحرك والآخر ثابت (أو العكس) أم أن الاثنين يتحركان ، وكل ما يمكن أن يقال بشكل منطقي عن هذين الجسمين هو أنهما يتحركان بصورة منتظمة بالنسبة لبعضهما .

ومن الأمور المعتادة ، أن نتخذ من حالة حركة معينة « اطارا مرجعيا » (reference frame) ، وقد نتخيل مراقبا وهما يتبوا كل اطار مرجعى . ولا تعترف قوانين « نيوتن » بوجود فئة مميزة من الأطر المرجعية تحظى بصفة « السكون » ، فإى تحرك منتظم يعد فى ظل الميكانيكا النيوتونية تحركا نسبيا . ولو قيل على سبيل المثال ان عربة تتحرك بسرعة خمسين كيلومترا فى الساعة فانما يعنى ذلك خمسين كيلومترا فى الساعة بالنسبة لرصيف الشارع ، ولا يحمل هذا القول وفقا لقوانين « نيوتن » سوى هذا المعنى .

وعلى عكس الحركة المنتظمة التى تكتسى سمة النسبية ، فان الحركة المتعرجة تعد مطلقة absolute حسب نظرية « نيوتن » ، أى يمكن ايجاد تجارب توفر بقدر كاف من اليقين ردا على السؤال القائل « هل هذا الاطار المرجعى متعجل لم لا ؟ » . ويمكن تماما اجراء هذه التجارب من داخل النظام المتعجل ذاته دون الحاجة للرجوع الى العالم الخارجى . ولو استعنا بواحد من الأمثلة المذكورة آنفا فسوف نلاحظ اننا لو وضعنا بيضة على منضدة مستوية فى طائرة محلقة بسرعة منتظمة فلن تتعرض البيضة لآينم عن انتظام حركة الطائرة . أما لو أبطأت الطائرة بشكل فجائى أو أسرعت

فسوف تتدحرج البيضة من على المنضدة وتتكسر ؛ من شأن العجلة اذن أن تكسر البيض ، أما السرعات المنتظمة فلا تكسره !

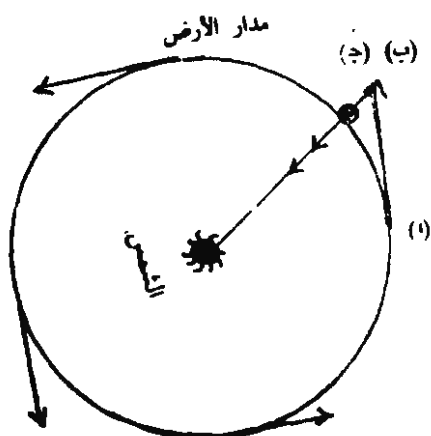


شكل ١ - ٥

الشكل ١ - ٥ : نسبية الحركة المنتظمة . لو أن كبسولتي فضاء كانتا تقتربان من بعضهما بسرعة عشرة الاف كم فى الساعة فى الفضاء الخارجى ، فإن كل مجموعة من رواد الفضاء ستشعر أن كبسولتها ساكنة وأن الكبسولة الثانية هى التى تتحرك صوبهم ، فمن من المجموعتين على حق ؟ لا يمكن ايجاد رد على هذا السؤال . وليس هناك أى جهاز ميكانيكى من شأنه ، لو وضع فى الكبسولة ، أن يرصد سرعتها المنتظمة ، ولا مجال فى مثل هذه الحالة الا لرصد السرعة النسبية بين الكبسولتين .

ولما كانت الحركة المنتظمة تعد حالة لا تسترعى الانتباه وفقا للقوانين النيوتونية ، ويمكن اعتبارها حالة « طبيعية » ، لم يسع « نيوتن » الى « شرح » هذا النوع من الحركة ، ولكنه اهتم بدلا من ذلك بالحركة المتعجلة ورأى ان هذه الحركة تحتاج دائما سببا لها ، ولقد أطلق على هذه الأسباب اسم « القوى » . فالحجر الذى يسقط على الأرض يهوى تحت تأثير قوة الجاذبية التى تعاجله الى أسفل . والأرض تدور حول الشمس وفقا لمبدأ مشابه . وتؤكد قوانين « نيوتن » ان سرعة كوكبنا فى الفضاء لا تحتاج تفسيراً ، فالناظر فى اتجاه سرعة الأرض لا يجد شيئا ملحوظا من شأنه أن يعطل هذه السرعة ، غير أن اتجاه حركة الأرض يتغير باستمرار حيث انها تدور فى مسار منحن حول الشمس ، وهذا الانحناء على وجه التحديد هو الذى يحتاج تفسيراً فى هذه النظرية ، لأن أى جسم يتحرك فى مسار منحن انما يتعاجل باستمرار فى اتجاه متقاطع مع المسار . ومن هذا المنطلق فان أى كوكب يتحرك فى دائرة يتغير اتجاه سرعته بشكل مستمر صوب

مركز الدائرة (الشكل ١ - ٦) . وما دامت الأرض تتعاجل على الدوام في اتجاه مركز مدارها (شبه الدائري) فهذا هو ما يستوجب التفسير . ولو نظرنا الى مركز مدار الأرض فسوف نجد فعلا شيئا يلفت النظر ، وهو الشمس . وجاذبية هذه الشمس هي التي تدفع الأرض لأن تتحرك حولها في هذا المسار المنحني الى الأبد . ولو زالت الشمس لعادت الأرض الى حركتها المنتظمة ولأقلعت في مسار مستقيم .



الشكل ١ - ٦ : الحركة الدائرية هي بمثابة عجلة ، تدور الأرض حول الشمس بسرعة ثابتة في مدار شبه دائري . غير أن اتجاه سرعة الأرض يتغير على الدوام . فعندما تكون الأرض عند النقطة (أ) فهي تتحرك في الفضاء صوب النقطة (ب) ولكن نظرا لانحناء المسار فإنها في الواقع تميل للمداخل نحو النقطة (ج) . ويأتي هذا التغيير في اتجاه الحركة بطول ب ج صوب الشمس . ويعزى هذا التغير في السرعة - أي العجلة - الى قوة جاذبية الشمس التي تجذب الأرض في اتجاه ب ج . وليست ثمة قوة تعمل في اتجاه السرعة الخطية المسارية (الأسهم المفردة) .

ويقول قانون « نيوتن » الثاني بشأن حركة الأجسام أن عجلة الجسم تناسب طرديا مع القوة المؤثرة عليه (العلاقة ١ - ١) . وتسمى النسبة الثابتة فيما بين القوة والعجلة « كتلة القصور » للجسم ، أو باختصار كتلة الجسم .

القوة = كتلة القصور (interial mass) × العجلة (١ - ١)

وعلى ذلك فلو زالت القوة ، فسوف تتوقف العجلة ويستمر الجسم يتحرك بسرعة منتظمة . ولن تتغير المعادلة (١ - ١) بإضافة سرعة ثابتة

الى الجسم ، لان تغير السرعة فقط - أى العجلة - هو الذى يحسب فى هذا القانون الثانى . وتعتبر المعادلة (١ - ١) أيضا عما نلاحظه من أنه كلما زادت كتلة الأجسام صعب تعجيلها بنفس القوة المؤثرة (دفع السيارة أصعب من دفع الدراجة) . ولا شك أنه لا يمكن حل هذه المعادلة الا بعد معرفة طبيعة القوة المؤثرة ، لان هذه القوة قد تكون متغيرة مع المكان أو الزمان .

ولو قرأنا القانون الثانى « لنيوتن » من اليسار الى اليمين فسنجده يقول ان النظام المتحرك بتشكل منتظم لا يؤثر بأية قوى على مكوناته ومحتوياته ، ولذلك فان مسلك هذه المحتويات (وقد تشمل البشر) لا يمكن أن يتغير نتيجة الحركة المنتظمة للنظام ككل . وذلك يعنى أنه ليست هناك وسيلة « ميكانيكية » للتمييز بين حالة حركة منتظمة وأخرى .

وقد يتساءل البعض لماذا لا تتجلى بشكل مباشر هذه المبادئ المتعلقة بالحركة ؟ والرد هو أن هذه المبادئ تبدو للوهلة الاولى متناقضة من خلال الممارسات اليومية على الأرض . ولنشرح ذلك بالمثال التالى : هب أن عربة تسير فى طريق مستو بسرعة ثابتة مقدارها ٥٠ كم/ساعة ، هذه العربة لا بد لها من محرك . ولكن ألا يتعارض ذلك مع قوانين « نيوتن » التى تؤكد ان مثل هذه الحركة المنتظمة تتم بشكل تلقائى بدون قوة دافعة ، وانه لا حاجة لهذه القوة الا لمعالجة العربة ؟ والرد على هذا السؤال هو أن العربة تحتاج بالفعل قوة دافعة حتى من أجل الإبقاء على سرعتها المنتظمة ، لانه لا بد فى الواقع من التغلب على ما يواجهها دائما من احتكاك ومقاومة هوائية ، ولو لم تكن هناك قوة دافعة فمن شأن هذه القوى المناوئة أن تعمل ، وفقا لنفس هذه القوانين ، على ابطاء العربة الى أن تتوقف (بالنسبة للأرض بالطبع) . وفى حالة حركة الكواكب حول الشمس فان قوى الاحتكاك تعد ضئيلة للغاية بحيث يمكن اهمالها . ويعزى ذلك الى أن الأرض تتحرك فى فراغ شبه تام ، وليس عبر وسط مادي من شأنه أن يؤثر على حركتها . وينسحب ذلك على كبسولة الفضاء ، فهى تكتسب عجلتها الأصلية بفعل المحركات الصاروخية التى تضعها على مسارها ، ثم تكمل الكبسولة رحلتها فى الفضاء بدون قوة دافعة أخرى لانه ليست هناك قوى احتكاك تعمل على ابطائها . إذن ، المكان فى حد ذاته (الفضاء فى هذه الحالة) لا يؤثر بأى قوى على الأجسام المتحركة .

ولما كانت الآليات الأرضية تتعرض لقوى احتكاك تعمل ، فى حالة عدم وجود قوة دافعة ، على ابطاء حركتها وتبديد طاقتها الحركية ، فقد

أدى ذلك الى تولد اعتقاد خاطئ بوجود حالة طبيعية فى الكون تسمى السكون ، وهى الحالة التى تصل إليها « منظومة متحركة » بعد أن نستنفد طاقتها و « تتوقف » . وقد ساعدت روايات الخيال العلمى ، وحتى أكثرها حبكة ، على ترسيخ هذا الاعتقاد الخاطئ من خلال الاصرار على تجهيز مركبات الفضاء بالمحركات وصواريخ الدفع التى نعمل باستمرار على إبقاء الحركة المنتظمة للمركبة فى الفضاء . ونذكر مثالا لذلك ما جاء فى إحدى الحلقات التليفزيونية الشهيرة من أن « الموت فى الفضاء » كان المصير الذى آلت إليه سفينة فضاء نضب مصدر طاقتها . ولا شك ان مثل هذا النوع من الشطط يلحق ضررا بالغا بعملية نشر الثقافة العامة . ومن غير المعقول حقا أن يظل بعض كتاب الخيال العلمى حتى الآن بعيدين عن تلك المبادئ التى أرساها « نيوتن » منذ نحو ٣٠٠ سنة بينما نسخت هذه المبادئ منذ ثلاثة أرباع قرن بنظرية النسبية التى وضعها « اينشتين » .

والسؤال المطروح الآن هو كيف تحقق قوانين « نيوتن » بشأن الحركة ، بما سجلته من نجاح باهر فى وصف مسارات الكواكب حول الشمس ، النموذج الذى وضعه هذا العالم للمكان والزمان ، لاسيما وان الخصائص الميكانيكية للأجسام لا تشكل وسيلة لتحديد موقعها وسرعتها فى المكان ؟ ولا شك أن هذا السؤال يعد حجة قوية تعزز النظرية العلاقية التى لا تعترف بالمكان كإطار مرجعى ترجع الحركة إليه . ومع ذلك فما زالت الميكانيكا النيوتونية توفر أطارا يبيح قياس نوع من الحركة عبر المكان وهو الحركة المتعجلة . وتقودنا «العجلة» الى نوع من القوى المعروفة والتى يطلق عليها فى بعض الأحيان قوى القصور الذاتى ، ونضرب لها مثلا بما يشعر به المرء من ضغط لأسفل عندما يركب مصعدا يتحرك لأعلى ، أو بقوة الطرد المركزية التى يشعر بها انسان يركب لعبة « دوامة الخيل » فى مدينة الملاهى . ولا يحتاج الأمر الاسترشاد بأجسام أخرى فى المكان المحيط بالمصعد أو دوامة الخيل ليعرف الراكب أنهما فى حالة حركة متعجلة .

ولكن ما هو مصدر قوى القصور الذاتى ؟ ان « نيوتن » يعزى هذه القوى إلى المكان الذى تجرى فيه الحركة المتعجلة . ولو كان ذلك صحيحا فانه يعنى أن يظل المرء يشعر بقوة الطرد المركزى فى دوامة الخيل لو دارت بالنسبة للمكان المحيط بها حتى لو أخلى الكون من كافة محتوياته عداها ! لذلك تعتبر قوى الطرد المركزية ظاهرة تغند المذهب العلاقاتى وترسى فكرة مادية المكان .

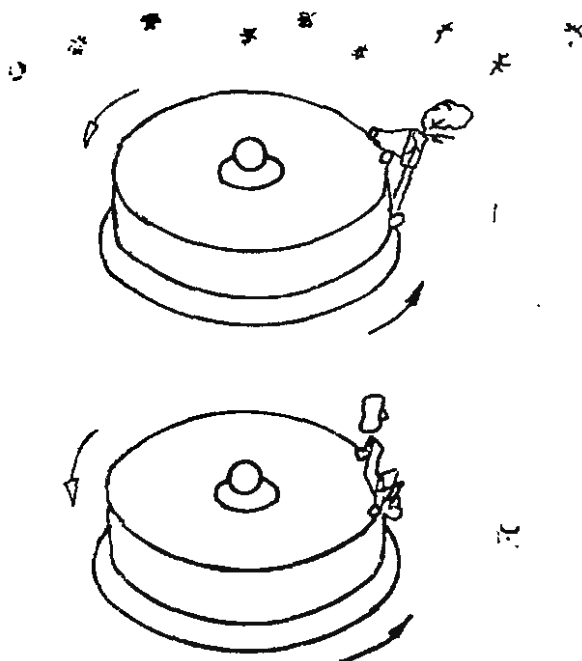
وبينما تعجز قوانين « نيوتن » عن توفير وسيلة تتيح تحديد موقع جسم ما في المكان وقياس سرعة تحركه عبر المكان ، مما يميز المذهب العلاقاتي ، نجد أن تأثير القصور الذاتي يعضد فيما يبدو النموذج النيوتوني الذي يعتبر المكان عنصرا ماديا يمكن أن يؤثر على الأجسام في بعض حالات الحركة على الأقل .

غير أننا لو تدارسنا المسألة بمزيد من التعميق ، فسنجد أنها محاطة بنوع من الغموض . فالقول على سبيل المثال بأن قوى الطرد المركزية تظل باقية في دوامة الخيل بعد اخلاء الكون من كل محتوياته عداها لهو قول مدحوض تماما ، فليس هناك سوى كون واحد ولا يمكن أن نخليه من جميع محتوياته . ومن ثم يمكننا ، دون الإخلال بتي ، الاستعاضة عن مفهوم العجلة (في حالة الدوران) المقاسة بالنسبة للمكان النيوتوني بمفهوم العجلة المنسوبة الى سائر المادة في الكون . وتلك كانت الفكرة التي طرحها في القرن التاسع عشر الفيلسوف والفيزيائي النمساوي ارنست ماخ (Ernst Mach) (١٨٣٨ - ١٩١٦) . وقد حاول ماخ تعزيز وجهة نظره بالاستعانة بحقيقة علمية واقعية معروفة : فلو وضعنا بندولا حر الحركة ، عند أحد القطبين على سطح الأرض وحركناه ، فلن يستمر في حركته التذبذبية في مستوى الحركة نفسه الى ما لا نهاية ، حيث ان اتجاه الذبذبة (أو مستوى الحركة) سيدور ببطء ليكمل دورة تامة في اليوم (في اتجاه عقرب الساعة لو كنا في القطب الشمالي والعكس في القطب الجنوبي) . ومثل هذا البندول معروض في متحف العلوم بلندن لمن يعنيره شك في ذلك . ويكمن تفسير تلك الظاهرة في دوران الأرض حول محورها ، غير أن الشيء الجدير بالملاحظة هو أن مستوى ذبذبة البندول يظل ثابتا « بالنسبة للنجوم البعيدة » ، أي أنه رغم دوران الأرض ليس هناك تأثير معاجل للبندول ، وهو حر الحركة كما أوضحنا .

نحن اذن أمام حقيقة واقعية تفيد بأن الآلة الميكانيكية التي لا تتعرض لقوى قصور ذاتي لا تتعرض كذلك لمعالجة في حركتها بالنسبة للنجوم البعيدة (أو بالأصح المجرات الأخرى ، حيث ان النجوم تدور ببطء داخل المجرة) . واذا كانت مثل هذه الحقيقة تعتبر ، وفقا للنموذج الذي وضعه « نيوتن » للمكان ، مجرد مصادفة ، فانها نكتسى في نظر « ماخ » أهمية بالغة . فانها لا تعني بالنسبة له انه يمكن الاستعاضة عن فكرة عزو العجلة للمكان بفكرة ارجاعها للنجوم البعيدة فحسب ، وانما هي تفترض أيضا ان

الآليات الميكانيكية المحلية (مثل البندول) ينبغي أن نكون واقعة تحت تأثير المحتوى المادى البعيد فى الكون ، حتى يمكن «معرفة» الاطار المرجعى المحلى غير المعاجل . ومن هذا المنطلق نسب « ماخ » القصور الذاتى الذى تتعرض له الآليات المتعاجلة الى « التفاعل » مع المادة البعيدة فى الكون . انها نظرية عجيبة ! فهمى تعنى أن القوة التى يشعر المرء انها تدفعه للخلف وهو يحاول دفع سيارة للأمام انما نعزى الى تأثير مجرات تقع على بعد آلاف الملايين من السنوات الضوئية !! وتعنى أيضا ان قوى القصور الذاتى ستوقف لو أزيلت المجرات من الكون ، أى انه لن يتسائر ركاب دوامة الخيل مهما زادت سرعة دورانها ، لو كانت فى كون خال من المادة . ولا شك أن مفهوم الدوران أصلا سيصبح بلا معنى فى مثل هذا العالم .

غير أن « ماخ » لم يتمكن من الارنقاء بفكرته هذه عن الكون الى مستوى النظرية العلمية (بل انه لم يستطع حتى أن يحدد طبيعة المفاعل مع المادة البعيدة فى الكون) ، وقد باءت بالفشل كذلك محاولات الكثيرين من بعده لتحقيق تقدم فى هذا المجال . وسوف نرى فى الباب الرابع من هذا الكتاب أن « الجاذبية » هى هذا التفاعل الطبيعى الذى يضى المصادقية على مبدأ « ماخ » . ولا تشكل النظرية السائدة بشأن الجاذبية تجسيدا مقنعا تماما لأفكار « ماخ » ، ومع ذلك فان هذا القصور ينطوى على شيء من الدعم لفكرة عزو العجلة الى المكان الخالى من المادة ، فلا يبدو أن هناك أى شيء مستمد من قوانين « الميكانيكا » يحقق النموذج الشامل الذى وضعه « نيوتن » للمكان على أساس ان الأجسام تتسم بموقع محدد فى المكان وسرعة عبر المكان . وثمة نموذج نيونونى معدل للمكان ، حيث تتباين فيه بعض أنواع الحركة (وهى الحركة المتعاجلة التى تتسم بوجود قوى القصور الذاتى) عن أنواع الحركة الأخرى (الحركة المنتظمة) التى تشكل فئة مميزة (لعدم تعرضها للقصور لذاتى) . ويطلق على انواع الحركة المنتسبة لهذه الفئة «الحركة القصورية» (inertial motions) وعلى أطرها المرجلة «الأطر المرجعية القصورية» (inertial reference frames) وبدلا من اعتبار المكان عنصرا ماديا فانه يتخذ صورة أكثر دقة ، حيث يعتبر وسيلة للتمييز بين هذه الأنواع المختلفة من الأطر المرجعية .



شكل ١ - ٧

الشكل ١ - ٧ : أصل القصور الذاتي - يضع الرجل المتعلق بدوامة الخيل في (١) بقوة تعمل على الاطاحة به ، فما هو مصدر هذه القوة ؟ وقد لاحظ ارنست ماخ أن الرجل يرى النجوم أيضا تدور حوله وتتوقف القوة المؤثرة عليه اذا توقفت النجوم عن الدوران . فهل النجوم هي التي تسبب تلك القوة ؟ لو كان ذلك صحيحا فمن شأن قوى القصور الذاتي أن تختفي في الكون الخالي من المادة (الشكل ب) . ان ظهور مثل هذه القوى عندما يتعرض الجسم للمعالجة (كان يدور) يكسب الجسم قصورا ذاتيا . او كتلة قصورية . ومازالت هذه مجرد فكرة تكهنية .

ويسمح التمثيل النيوتوني للمكان والزمان بالفصل بين حدثين من حيث الزمان حتى لو وقع الحدثان في مكانين مختلفين ، أما الحديث عن الفصل بين حدثين من حيث المكان ما لم يكونا متزامنين فهو كلام لا معنى له وفقا لهذا النموذج .

وقد نيسر تلك الملاحظة الى الفهم بأن نتناول حدثا ما باعتباره شيئا يجري في توقيت محدد وفي موقع معين من المكان ، ولنضرب مثلا بدقات

الساعة : فليس هناك لبس في أن الحدثين المتمثلين في دقائق الساعة في الخامسة والسادسة هما حدثان محددان تفصل بينهما ساعة زمن سواء أ كنا جالسين أمام تلك الآلة الزمنية في المرتين أم خلفها أو حتى على سطح الشمس (ما لم تمنعنا سخونة المقعد !) . أما لو سألنا عن الفاصل المكاني بين الحدثين فلن نجد اجابة واضحة على الاطلاق . فلو كنا جلوسا أمام آلة قياس الوقت فلن نشعر أنها تحركت من مكانها خلال ساعة الزمن التي انقضت بين الخامسة والسادسة ، بل اننا سنميل الى القول بأن الحدثين قد وقعا في توقيتين مختلفين ولكن في المكان ذاته (في غرفة المعيشة مثلا) . ولكن من الحقيقي أيضا أن الأرض قد تحركت خلال هذه الساعة وقطعت نحو مائة ألف كم في رحلتها حول الشمس وبالتالي ، لو رصد الحدثان أنفسهما من على سطح الشمس فسيظهران بفواصل ساعة في الزمن وفواصل مائة ألف كم في المكان . لا خلاف اذن في الحالتين من حيث الفاصل الزمني ولكن اختلف الأمر فيما يتعلق بالفواصل المكاني .

وإذا لم يكن هناك من سبيل لوصف العالم المادي الا باستخدام قوانين الميكانيكا التي وضعها « نيوتن » وحلها ، فسوف يستبعد المرء حتما النموذج النيوتوني الأول للمكان ويقنع بالنموذج المعدل . ومع ذلك من الوارد أن تكون هناك ظواهر طبيعية أخرى من شأنها أن تكون على علاقة ببنية المكان بطريقة مستقلة عن حركة الأجسام المادية . وقد تستغل هذه الظواهر الأخرى ، لدى تفاعلها مع المادة ، في تحديد سرعة الأرض على سبيل المثال ، عبر المكان النيوتوني . ولتأكيد احتمال وجود مثل هذه الظواهر لابد من اجراء مراجعة قصيرة للنظريات المتعلقة بالجاذبية والكهرومغناطيسية .

١ - ٥ - نظرية نيوتن بشأن الجاذبية الكونية :

ومن أبرز ما حققته نظرية « نيوتن » من نجاح في مجال الميكانيكا هو قدرتها على أن تصف بدقة حركة الكواكب في المجموعة الشمسية تحت تأثير قوة الجاذبية (gravity) . وكان « نيوتن » قد وضع ، اثر ملاحظاته ودراسته لعملية سقوط الأجسام (على نحو ما هو معروف من قصة سقوط التفاحة) ، نظرية بشأن الجاذبية الكونية . وتقول هذه النظرية ان كل الأجسام المادية في الكون تتجاذب فيما بينها بفعل قوة الجاذبية . ويمكن استنتاج بعض خصائص الجاذبية من خلال الممارسات اليومية العادية . فالفادن الذي تقاس به الاستقامة الرأسية للمباني يتخذ وضعاً رأسياً بسبب الجاذبية الأرضية ، بما يفيد بأن القوة التي تربط بين جسمين

كربين تقع على خط مركزيهما . ويمكن أن تعزى قوة الجاذبية بين الأجسام الى نوع من « الشحنة » الجاذبة ، على غرار القوى الكهربائية الموجودة بين الأجسام المشحونة كهربيا . وقد اكتشف العالم الايطالى جاليليو جاليلي (Galileo Galilei) (١٥٦٤ - ١٦٤٢) تلك الظاهرة الطبيعية المهمة المتمثلة فى أن الأجسام التى تسقط فى وقت واحد بالقرب من سطح الأرض تصل أيضا فى وقت واحد الى الأرض ، أى انها تتعرض لمقطار متساو من العجلة ، وسوف نتناول هذه الظاهرة بالتفصيل فى الباب الثالث . وبالرجوع الى قانون « نيوتن » الثانى (المعادلة (١ - ١) التى تقول ان (القوة = الكتلة × العجلة) نجد أن ثبات قيمة عجلة الجاذبية يقتضى أن تتناسب قوة الجاذبية مع كتلة الجسم . ولتبسيط ذلك الى الفهم فلنتصور جسمين أحدهما أثقل من الآخر ، ولا شك أن الجسم الأثقل يشكل صعوبة أكبر فى معاجلته لأسفل ، غير أن قوة الجاذبية التى تؤثر عليه تزيد هى أيضا بنفس نسبة زيادة الكتلة بحيث يحدث التعادل فى نهاية الأمر . ويمكن وصف هذه الظاهرة بأن الشحنة الجاذبة تتناسب مع الكتلة ، وتلك حقيقة سنرى معا انها تكتسب أهمية بالغة .

وأخيرا ثمة معلومة بسيطة مستمدة من حركة الكواكب فى السماء تفيد بأنه كلما بعد الكوكب عن الشمس زادت مدة دورته حولها ، وهذا يعنى أن قوة الجاذبية تقل مع زيادة المسافة .

ويقول قانون « نيوتن » بشأن الجاذبية بأن قوة الجذب بين جسمين (اصمين) كتلتاهما K_1 و K_2 وتفصل بينهما المسافة F ، يمكن حسابها بالمعادلة الآتية :

$$Q = \frac{J K_1 K_2}{F^2} \quad ١ - ٢$$

حيث (J) هى معامل ثابت ذو قيمة متساوية بالنسبة لجميع الأجسام فى الكون ، ويطلق عليها معامل « نيوتن » الثابت للجاذبية ، وهو عبارة عن قيمة النسبة الثابتة (المشار إليها آنفا) اللازمة لتحويل وحدات الكتلة الى وحدات الشحنة الجاذبة .

وتجدر الإشارة الى أن نيوتن قد وضع شرطا أساسيا صعبا فى هذا القانون ، حيث افترض أن القوة تؤثر على التو عبر المكان الخالى الفاصل بين الجسمين . انها إذن نظرية التأثير الفورى عن بعد . ولعلنا نذكر بأن التزامن هو مفهوم واضح محدد تماما وفقا للنموذج النيوتونى للزمان .

ولقد أدمج « نيوتن » قانون الجاذبية (١ - ٢) وقانون الحركة
الأساسي (١ - ١) واستنتج أن مسارات الكواكب حول الشمس هي
مسارات بيضاوية . وهذا صحيح ، وهو يعد نجاحا مشهودا للميكانيكا
النيوتونية ، بل ولل فلسفة أيضا حيث انه يثبت أن حتى « الأجسام
السمائية » ، على نحو ما كان ينظر لها في ذلك الحين ، تخضع لقوانين
الطبيعة الواقعية التي يمكن التوصل إليها في المعامل الأرضية . وكم تكرر
سرد هذا الدرس في التاريخ كلما اكتشفت على الأرض قوانين جديدة بشأن
أسرار الطبيعة وثبت صحتها حتى بالنسبة لأبعد المناطق التي يمكن أن
نراها في الكون ! .

١ - ٦ - نظرية ماكسويل بشأن الكهرومغناطيسية والآثير :

ورغم النجاح الضخم الذي حققته نظرية « نيوتن » ، في شرح حركة
الكواكب حول الشمس تحت تأثير قوة الجاذبية الفورية فانها « لم » تنجح
إيجاد تفسير سليم لحالة على درجة كبيرة من التماثل مع حالة الكواكب ،
وهي حركة الجسيمات المشحونة كهربيا والتي تتفاعل فيما بينها عبر المكان
الخالي تحت تأثير القوى الكهربائية والمغناطيسية . ومثلما أن الأرض تدفع
في تحركها إلى الحيد عن الخط المستقيم تحت تأثير جاذبية الشمس ، فإن
أي جسيم مشحون كهربيا ، مثل الإلكترون ، سيدفع إلى التحرك في مسار
منحن تحت تأثير القوى الكهربائية والمغناطيسية . ولا جدال في أن الصورة
الحديثة للذرة تماثل من عدة وجوه بنية المجموعة الشمسية ، حيث تتوسط
الذرة نواة ثقيلة تحمل شحنة موجبة (وتناظر بذلك الشمس) وتدور
حولها الذرات الخفيفة المتحركة بسرعة عالية .

غير أن ثمة ثلاثة اختلافات مهمة بين قوى الجاذبية والقوى
الكهرومغناطيسية :

أولا : فإن بعض أنواع الجسيمات فقط هي التي تحمل شحنة كهربية
بينما تكمن شحنة الجاذبية في كافة صور المادة والطاقة .

ثانيا : تنقسم القوى الكهربائية إلى قوى جذب وقوى تنافر مما دفعنا
إلى تقسيم الجسيمات المشحونة إلى فئتين : فئة تحمل شحنة موجبة وفئة
تحمل شحنة سالبة . وبينما تتجاذب الجسيمات التي تحمل شحنات
متخالفة تتنافر تلك التي تحمل شحنات متماثلة . أما الأجسام الخاضعة
للجاذبية الكونية فانها تتجاذب على الدوام . ويعزى السبب في تنافر
الشحنات المتماثلة في الحالة الأولى إلى أن القوة الكهرومغناطيسية هي قوة

« موجبة » ، أى أن لها اتجاها قابلا للتغير كثنان شدتها (ويوضح ذلك لماذا يتبنى طرح فكرة القوى المغناطيسية الى جانب القوى الكهربائية) بينما تعمل قوى الجاذبية النيوتونية دائما فى اتجاه الخط الواصل بين الجسمين . أما وجه الاختلاف الثالث والأخير بين هذين النوعين الأساسيين من القوى الطبيعية فيتمثل فى شدتهما النسبية . فالقول بأن القوى الكهرومغناطيسية فى الفترة تعد أشد كثيرا من قوى الجاذبية الكونية هو قول مبخس ، حيث انها تفوقها بنسبة ٣٩١٠ (أى واحد على يمينه ٣٩ صفرا !) . ولهذا السبب تهيمن القوى الكهرومغناطيسية على كافة ظواهر الحياة اليومية تقريبا . ومع ذلك فان التكمسات الضخمة من المادة ، تتسم على نحو ما بالتعادل الكهربى ، ويرجع الفضل فى ذلك الى وجود الشحنات الكهربائية المضادة . وعلى النقيض من ذلك تتسم شحنة الجاذبية فى المادة المكونة للأرض بأنها تراكمية رغم ضعفها البالغ . ومع مرور الوقت ووصول الأرض الى حجمها - المكون من ٥١٠ ذرة - صار للجاذبية ، بفضل الكثرة العددية ، تفوق ساحق على التأثير الكهرومغناطيسى رغم شدته البالغة .

ويرتبط عجز الفيزيائيين السابقين عن وضع نظرية تأثير عن بعد تخص الكهرومغناطيسية ، بهذه الفوارق كما يرتبط بشدة كذلك بمسألة « علم التناظر الزمنى » على نحو ما سنرى فى الباب السادس . وقد أمكن فى السنوات الأخيرة التغلب على هذا « القصور » بحيث صار بوسعنا إعادة صياغة نظرية الكهرومغناطيسية وذلك الفرع من العلم المتعلق بها ونعنى الكهروديناميكا (أى حركة الجسيمات المشحونة كهربيا وتأثيراتها) ، على نمط صيغة التأثير عن بعد .

ولقد جاءت الانطلاقة الكبرى فى فهم القوى الكهرومغناطيسية نتيجة للانجازات الرياضية المبهرة التى حققها فى القرن التاسع عشر الفيزيائى البريطانى جيمس كليرك ماكسويل (James Clerk Maxwell) (١٨٣١ - ١٨٧٩) . فقد أدمج ماكسويل نتائج التجارب العملية التى كان قد أجراها كل من الدانمركى هانز أورستيد (Hans Oersted) (١٧٧٧ - ١٨٥١) والانجليزى مايكل فاراداي (Michael Faraday) (١٧٩١ - ١٨٦٧) والروسى هنريتش لينز (Heinrich Lenz) (١٨٠٤ - ١٨٦٥) وآخرون ، فى سلسلة موحدة من المعادلات الرياضية التى تصف بدقة وروعة شكل التداخل بين حركة الجسيمات المشحونة كهربيا وطريقة تأثير القوى الكهرومغناطيسية وتطور نظرية ماكسويل برمتها حول ما أرساه من مفهوم عميق وجديد تماما فى عالم الفيزياء وهو مفهوم « المجال » (the field) . لقد أعاد ماكسويل صياغة قوانين الكهرومغناطيسية بلغة جديدة هى لغة المجالات ، وتمكن

بالتالى من أن يزيل بدفعة واحدة كل الصعاب والمشاكل المتعلقة بسالة التأثير عن بعد ، فاتحا بذلك صفحة جديدة تماما فى تاريخ العلم الطبيعى .

ويتسم المجال من عدة أوجه بقدر أكبر من التجريد قياسا بالجسيم . وتمثل فكرة ماكسويل فى أن كل جسيم منسحون يحيط به مجال كهرومغناطيسى كهالة غير مرئية ، ولا يمكن ادراك وجود هذا المجال الا لو نفذت اليد جسيمات مشحونة أخرى ، فيظهر عندهذ تأثير المجال فى صورة قوة يؤثر بها على هذه الشحنات الدخيلة عليه . ولما كان الفيزيائيون فى القرن التاسع عشر يميلون الى تشبيه المجال بحركة الموائع ، فقد برز اتجاه الى استخدام كلمات مثل التيار المغناطيسى (magnetic flux) وخطوط القوة (lines of force) (على غرار خطوط التيار streamlines) بالنسبة للموائع) وهى كلمات ما زالت مستخدمة حتى اليوم ، غير أن التشبيه بالموائع يقتضى وجود نوع من «الوسط» (medium) لينقل تأثير الشحنات على بعضها . ولقد كان الاقتناع فى القرن التاسع عشر بتماثل المجال مع حالة الموائع راسخا بدرجة أن أطلق اسم « الأثير » (ether) على هذا الوسط المتعلق بالمجال . وقد افترض العلماء أن هذا الوسط يملأ كل المكان الخالى دون أن يكون مرئيا ، واعتبروا أن المجالات الكهرومغناطيسية هى بمثابة ضغوط داخلية (stresses) فى الأثير . بل ولقد برز احتمال جديد أكثر إثارة : فمثلا يحث فى أنواع الوسط المألوفة مثل الهواء ، حيث قد يؤدى أى خلل الى تولد موجات ضغط تذبذبية (مثل موجات الصوت العادية) تنتشر للخارج بسرعة ثابتة مرهونة بما يتسم به الهواء من خصائص المرونة ، من الوارد أيضا أن يؤدى أى خلل فى الجسيمات المشحونة الى توليد موجات ضغط فى هذا الأثير المزعوم . بل انه بوسعنا حساب سرعة هذه الموجات بسهولة عن طريق الخصائص الكهربائية والمغناطيسية لهذا الوسط ، وما هو فى هذه الحالة سوى المكان « الخالى » .

وفى الوقت الذى تكهن فيه ماكسويل بوجود هذه الموجات الكهرومغناطيسية كانت قيمة الكميات المتعلقة بها معروفة ، وفى مقدمتها سرعة انتشار الموجات فى الأثير والتى تبين أنها سرعة بالغة تصل الى نحو ثلاثمائة ألف كيلومتر فى الثانية . ونحن نعتقد حاليا أن هذه هى أقصى سرعة فى الكون (على الأقل بالنسبة للأجسام العادية) . غير أن ذلك كان يكتسى معنى آخر مهما فى زمن ماكسويل . فلقد كانت هذه على وجه الدقة هى السرعة التى حددها عالم الفلك الدانيركى أولافوس رومر (Olaus Romer) (١٦٤٤ - ١٧١٠) لانتشار الاشارات الضوئية بناء على ملاحظاته لمدارات أقمار كوكب المشترى ! لقد حقق علم الفيزياء فى ذلك الحين طفرة كبيرة . فلقد بدا أن الضوء يتكون من موجات كهرومغناطيسية ناجمة عن حركة جسيمات مشحونة كهربيا ، وتتحرك هذه الموجات عبر المكان فى صورة ذبذبة للأثير .

ولم يتوقف الأمر عند هذا الحد . فإذا كان تردد الموجات الصوتية قابلا للتغير فإن نفس الشيء ينطبق على تردد الموجات الكهرومغناطيسية . والواقع أن التغيرات المحدودة في تردد الموجات الضوئية تؤدي إلى اختلاف لون الضوء ، ولكن ماذا عن التغيرات الكبيرة ؟ إن الضوء ذاته ينجم عن الخلل العنيف على التردد الذي يقع نتيجة تعرض الذرات لعوامل التحفيز مثل الحرارة العالية . غير أنه يمكن في المعامل توليد أنواع من الخلل أضعف كثيرا من حالة الضوء وذلك عن طريق آليات كهربية تتيح تحريك الجسيمات المشحونة بترددات مضبوطة نسبيا ، فهل يمكن رصد مثل هذه الموجات ؟ نعم بالتأكيد : إنها ليست سوى موجات الراديو التي سعى إلى اكتشافها العالم الألماني هنريتش هرتز Heinrich Hertz (١٨٥٧ - ١٨٩٤) وتمكن بالفعل من إنتاجها بعد زهاء عشرين عاما من تكهن ماكسويل بوجودها . ولقد أصبحت اليوم كل سلسلة ترددات الموجات الكهرومغناطيسية مألوفة للفيزيائيين ، فعلاوة على موجات الراديو والموجات متناهية الصغر (الميكروويف) هناك الأشعاعات الحرارية (الأشعة تحت الحمراء) والأشعة فوق البنفسجية والأشعة السينية وأشعة جاما ، وكلها مفهومة وفقا لنظرية ماكسويل التي يربو عمرها الآن على مائة عام .

وقد وفر الاهتمام إلى الموجات الكهرومغناطيسية وسيلة حاسمة لاختبار النموذج الذي وضعه « نيوتن » للمكان والزمان . ولقد شكل التغير الذي صاحب هذا الاختباو عند مطلع القرن العشرين ، والصرح الرياضي والفيزيائي المبحر الذي نجم عن هذا التغير ، منعطفا في تاريخ الفيزياء والفكر البشري يرقى إلى مستوى الثورة التي فجرها « نيوتن » قبل ذلك بقرنين من الزمان . وتمثل هذه الثورة الجديدة في نظرية النسبية .

الباب الثاني

ثورة النسبية

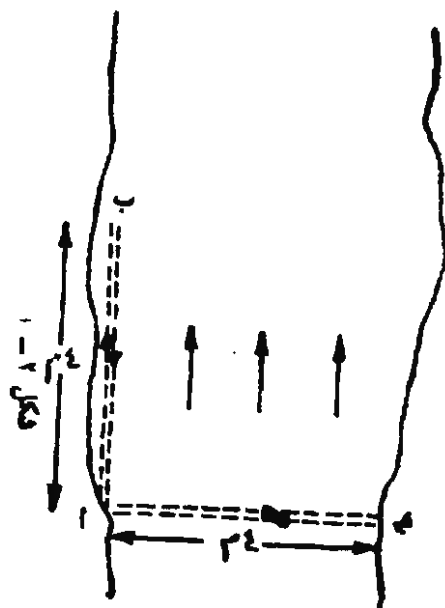
٢ - ١ المكان والزمان في أزمة

وأينا أنه لا يمكن تحديد موقع جسم ما أو قياس سرعته بأية وسيلة ميكانيكية وفقا لنموذج المكان المطلق الذي وضعه « نيوتن » . ولكن يظهور نظرية ماكسويل للكهر ومغناطيسية يبرز إمكان استخدام الخصائص البصرية - أي حركات الاشارات الضوئية - لقياس سرعة تحرك الأجسام عبر المكان . وكان نجاح مثل هذه المغامرة يرتهن بشدة بمفهوم ماكسويل للأثير ، حيث كان يعتبره نوعا من الموائع يملأ الفضاء (ويفترض أنه ساكن) ، ومن ثم يمكن استنتاج حركة الأجسام في الفضاء من خلال تحركها في الأثير .

وكان هناك على وجه الخصوص اعتقاد بأنه يمكن تحديد سرعة تحرك الأرض عبر الأثير وفقا للمنطق التالي : تدور الأرض حول الشمس في مسار بيضاوي ، ولذلك فهي تتحرك عبر الأثير بسرعة متغيرة . ولو اتخذنا موقعا ثابتا على سطح الأرض كإطار مرجعي ، فسنجد أن الأثير يشكل تيارا متدفقا موازيا لسطح الأرض ، ولكن يفترض أن يكون هذا التيار خفيفا للغاية بحيث لا يشكل أية قوة أو مقاومة لحركة الأرض والا تعارض مع قوانين الميكانيكا النيوتونية ، وأدى الى تباطؤ حركة الأرض وسقوطها في نهاية المطاف على الشمس . ومع ذلك كان العلماء في القرن التاسع عشر يؤمنون إيمانا راسخا بأن تيار الأثير شيء حقيقي تماما . وكانت المشكلة في ذلك الحين هي كيف يمكن قياس معدل تدفق هذا الأثير . وتقول نظرية ماكسويل أن الضوء ينتشر عبر الأثير بسرعة ثابتة لا ترتفع الا بدرجة « مرونة » (elasticity) هذا الوسط . وهذا يعني أن سرعة الضوء ، لو قيس من موقع ما على سطح الأرض ، فستختلف بحسب اتجاه انتشار هذا الضوء . فلو كان الضوء متحركا على سبيل المثال في اتجاه مواز لتيار الأثير فإنه سينتقل بسرعة أكبر مما لو كان متحركا في عكس اتجاه التيار .

وتلاحقت الجهود الباهرة لقياس سرعة تدفق الأثير . وكانت أبرز تلك التجارب هي ما قام به في ١٨٨٧ الفيزيائيان الأمريكيان ألبرت مايكلسون Albert Michelson (١٨٥٢ - ١٩٣١) وادوارد مورلي Edward Morley (١٨٣٨ - ١٩٢٣) . ولعل أفضل طريقة لشرح فكرة تجربتهما هي تشبيه الأثير بتيار مائي في نهر عادي . فلو قارنا بين سباح يعبر النهر من ضفة لضفة ثم يعود مرة أخرى (الشكل ٢ - ١) وآخر

يسبح بنفس السرعة بالنسبة للماء ويقطع نفس المسافة في اتجاه التيار ثم يعود في عكسه ، فسنجد دائما أن الأول يصل قبل الثاني . والسبب في ذلك بسيط ويعزى الى أن السباح الثاني يواجه التيار المائي الذي يساعده في الذهاب ولكن يعوقه في الاياب ، ولأن رحلة الاياب أبطأ من الذهاب فانها تستغرق وقتا أطول . ويزيد زمن الاعاقة في العودة عن زمن المساعدة في الذهاب ، فتكون النتيجة أنه يصل دائما متأخرا عن زميله الذي لا يتعرض في كل من رحلتى الذهاب والعودة الى مقاومة ضعيفة يمكنه التغلب عليها بالسباحة بزاوية ميل مع التيار .



الشكل ٢ - ١ سباق شعاع الضوء وفيها تجربة ماينكسون - مورلي .
 يدخل أحمد وعلى في سباق للسباحة وكلاهما يسبح بسرعة ٤ أمتار في الثانية . ينطلق الاثنان من نقطة واحدة (١) في توقيت واحد ، ويسبح « على » في اتجاه التيار فيصل الى النقطة (ب) ثم يعود بينما يسبح أحمد نفس المسافة عبر النهر الى النقطة (ج) ويعود ، ويغوز أحمد في كل مرة . والسبب بسيط : نفترض أن سرعة التيار تساوى مترين في الثانية . يصل أحمد الى النقطة (ج) في زمن قدره ١١ ثانية بينما يصل على . وقد ساعده التيار فأصبحت سرعته ستة أمتار في الثانية ، الى النقطة (ب) في ٦ ثانية فقط . غير أن على يفقد تقدمه في رحلة العودة حيث يواجه التيار فتكون سرعته مترين فقط في الثانية ، ولذلك تستغرق رحلة عودته ٢٠ ثانية كاملة فيبلغ مجموع زمنه ٢٦ ثانية . أما أحمد فتستغرق رحلة عودته نفس زمن رحلة الذهاب فيكون مجموع زمنه ٢٣ ثانية أي أنه سيسبق على بفارق ٣ ثانية .

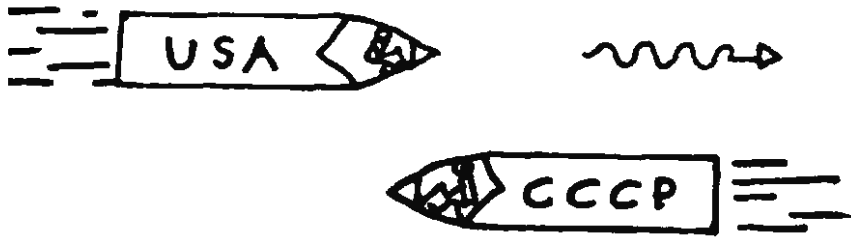
وقد استخدم مايكلسون ومورلى اشعة الضوء « كسباحين » فى تيار الاثير حيث بناها ذهابا وايابا فى اتجاهين متعاكسين . ويمكن بمطابقة الشمامسة العائدين التوصل الى قياس دقيق للفارق الزمنى فى رحلتيهما . غير ان النتيجة جاءت محيرة ، بل انها شكلت انفجارا اطاح بشكل حاسم بالفيزياء التجريبية واسدل الستار على صرح النموذج النيوتونى للمكان والزمان وكان عمره فى ذلك الحين مائتى عام . فرغم أن جهاز مايكلسون ومورلى كان دقيقا بدرجة تكفى لقياس الحد الأدنى من التأثير المتوقع نتيجة حركة الأرض المدارية ، فانهما لم يتوصلا ببساطة الى أى شئ على الاطلاق : لقد توقف تيار الاثير - ولم يستأنف تدفقه بعد ذلك مطلقا .

وقد فجرت مسألة عدم وجود تيار اثير تناقضا جوهريا محيرا فى علم الفيزياء . وتوالت الجهود سعيا الى ترميم نظرية الاثير ، ولكنها تحولت كلها الى ضرب من السخافة عندما واجهت فكرا قويا جديدا تماما . فقد جاء البرت اينشتاين Albert Einstein (المانى ، ١٨٧٩ - ١٩٥٥) ، وهو واحد من أعظم الفيزيائيين فى العالم على مدى التاريخ ، ونسف كل المفهوم الذى جرت فى اطاره تجاوب تيار الاثير برمته . ولم يقترح شيئا أكثر من مجرد التخلي تماما عن النموذج النيوتونى المألوف للمكان والزمان بكل ما حققه من نجاح على مدى هذا العمر الطويل ، واستعاض عنه بنظرية أسفرت عن نتائج عجيبة وغير مألوفة . وقد نشر اينشتاين النظرية الجديدة فى صورتها الأساسية فى عام ١٩٠٥ وأسماها نظرية النسبية الخاصة . وقد فتحت هذه النظرية صفحة جديدة فى تاريخ العلم .

وتنطوى نظرية النسبية فى جوهرها على رفض لمفهوم «نيوتن» للمكان باعتباره عنصرا حقيقيا . فلا يمكن رصد الاثير لأنه لا وجود له ، كما أن فكرة وجود اطار ساكن مطلق يمكن أن تقاس بالنسبة له سرعة حركة الأجسام فى المكان تعد فى مجملها محض خيال . اما الحركة المنتظمة فانما هى تعرف « نسبة » الى منظومة مادية أخرى ، كذلك ، فانه لا يمكن بأية حال رصد السرعة المطلقة لحركة منظومة ما عبر المكان لا بوسيلة ميكانيكية ولا بأية وسيلة أخرى . بل ان مفهوم الحركة المنتظمة عبر مكان ثابت يعد برمته بلا معنى . وهكذا سقط الاثير ، وسقطت معه كل الكيمياء القديمة وما يعرف بعلم اللاهوب (phlogiston) فى دنيا الفضول التاريخي ، وطرح اينشتاين محله مبدأ جديدا عجيبا .

ويبدو مبدأ النسبية الجديد سلسا للوهلة الاولى ، ولكن سرعان ما يتضح انه محير تماما . يقول هذا المبدأ ان سرعة الضوء ثابتة في أى مكان . وهذا يعنى أن الضوء يتحرك بسرعة واحدة سواء أقيست هذه السرعة على الأرض أم في صاروخ منطلق ، وسواء أكان مصدر الضوء ساكنا أم متحركا صوب المشاهد أم مبتعدا عنه . بل انه يعنى أنه لو عمد شخصان متحركان بسرعة عالية على خطين متوازيين ولكن في اتجاهين متضادين . الى قياس سرعة شعاع ضوئى واحد فسيرصدان سرعة واحدة !

ويتناقض هذا الوضع مع الافتراض السابق القائل بأن الضوء يتحرك بسرعة ثابتة عبر المكان . وقد نضرب مثلا لذلك برائد قضاء يركب صاروخا يتحرك بسرعة بالغة في اتجاه مضاد لشعاع ضوئى ، فمن البدهى أن يقابل هذا الرجل الشعاع الضوئى بسرعة أكبر من زميل له يركب صاروخا مماثلا ويتحرك في عكس الاتجاه حيث يتعقبه الشعاع ويحاول أن يتخطاه . لا شك أن هذه الحالة تنطبق بشكل صحيح على الموجات الصوتية ، ولن يجادل معظم الناس في صحتها ، كذلك بالنسبة للموجات الضوئية . غير أن اينشتين كان له رأى آخر . وهو أن كلا الصاروخين سيقابل الضوء متحركا بسرعة واحدة ! وذلك يعنى انه مهما بلغت طاقة الصاروخ في تعقب الشعاع الضوئى سيظل هذا الشعاع يبتعد عن الصاروخ بنفس السرعة ، كما أنها لن تزيد أو تقل عن السرعة التى يبتعد بها الشعاع عن الصاروخ المتحرك في عكس الاتجاه .



الشكل (٢ - ٢) : ثبات سرعة الضوء في جميع الاحوال . رالد الفضاء الأمريكى ينطلق صوب النبضة الضوئية وهي تتقدم عليه بسرعة 2998×10^8 متر فى الثانية . اما رالد الفضاء الروسى فيحاول الإفلات من النبضة الضوئية ذاتها وهي تتباعد بسرعة 2998×10^8 م/ث . ويزيد الأمريكى من سرعته ، ومازال الضوء يتقدم بنفس السرعة 2998×10^8 م/ث . انه فى حال الفضل من زميله الروسى الذى يبذل قصارى جهده فى الاتجاه المضاد ولكن بلا جدوى .

من الواضح اذن أن مبدأ ثبات سرعة الضوء يفسر فشل مايكللسون ومورلى فى رصد أى فارق ذهنى بين شعاعى الضوء المتحركين ذهابا وإيابا

في اتجاهين متعاكسين عبر الأثير ، فكلا الشعاعين يتحرك بسرعة واحدة
بخض النظر عن اتجاه حركة الأرض . وعلى أية حال فإن هذا المبدأ يبدو
هراء ما لم نستبعد تماما فكرة ثبات المكان والزمان برمتها . ولابد أن
هناك شيئا فريدا غريبا يفسر عجز الصاروخ ، مها كانت قدرة محركاته ،
عن التغلب قيد أنملة صوب الشعاع الضوئي .

٢ - ٢ سقوط النموذج النيوتوني للزمان

ولتصوير كم تكون الأمور غريبة اذا افترضنا ثبات سرعة الضوء ،
عادة ما نلجأ الى مناقشة تجربة شخص يركب عربة قطار يتحرك بسرعة
عالية (ولا شك أن الاختيار المتواضع لوسيلة النقل التي عادة ما تستخدم
في الأمثلة من هذا القبيل ، انما يعكس حقيقة ان القطار كان في ذلك
الحين ، نحو عام ١٩٠٥ ، هو أسرع مركبة بصفة عامة) .

ويقتضى التوصل الى نتيجة ملموسة أن تتصور مرة أخرى أن الفطار
يسير بالنسبة لقضبان السكة الحديد بالطبع ، بسرعة فائقة تصل قيمتها
الى نسبة كبيرة من سرعة الضوء . (ونجدد الإشارة في هذا المقام الى أن
سرعة دوران الأرض حول الشمس لا تزيد على نسبة بالغة الضالة قياسا
بسرعة الضوء) . وقد يفسر عدم وجود مثل هذه الوسائل فائقة السرعة
في القرن العشرين السبب في عدم ملاحظة أى شئ غريب في حركة الحياة
اليومية ، وأيضا سبب هذا الوقت الطويل الذي استغرقته عملية اكتشاف
نظرية النسبية . وعلى أية حال ، سوف نعتبر أننا نستخدم قطارا
خارقا !

وتتلخص التجربة الوهمية في الآتي : نفترض أن شخصا يسمى (أ)
يقف بداخل عربة القطار (انظر الشكل ٢ - ٣) ومعه مصدر ضوئي قد
نبتته في منتصف العربة تماما . وعلى الرصيف يقف شخص آخر يسمى
(ب) في انتظار القطار الخارق ، ويمكن لهذا الشخص رؤية المصدر
الضوئي والغرفة الداخلية للعربة . ويتحرك القطار بسرعة ثابتة أمام (ب)
وفي لحظة معينة يرسل المصدر الضوئي ومضة قصيرة في كلا الاتجاهين
بطول العربة ، وعندما تصل الومضتان الى طرفي العربة يقوم كل من
(أ) و (ب) برصدهما .

وسوف نلاحظ نتيجة عجيبة لهذه التجربة الوهمية ، فالشخص (أ)
الموجود داخل القطار سيرا الومضتين تنطلقان في لحظة واحدة وتخترقان
المكان داخل العربة وتصلان الى طرفيها في وقت واحد . ويعزى ذلك الى
أن سرعة انتشار الضوء تتساوى بالنسبة للومضتين ، كما أن المسافتين
اللتين تقطعانهما متساويتان . أما بالنسبة للشخص (ب) الواقف خارج

القطار ، فالأمر يختلف تماما . انه يرى هو أيضا النبضتين تتحركان بسرعة واحدة في كلا الاتجاهين ، غير أن السرعة تقاس في هذه الحالة بالنسبة للإطار المرجعي ل (ب) الواقف على المحطة . وبالتالي يسرى (ب) الومضة اليسرى تصل الى طرف العربا الأيسر قبل ، وصول الومضة اليمنى الى الطرف الآخر . ويرجع السبب في ذلك الى أن (ب) يرى (دون (١)) كلا من القطار والومضتين الضوئيتين في حالة حركة بحيث انه خلال المدة التي استغرقها الضوء ، ليصل الى طرفي العربا يكون القطار قد تحرك لبعض المسافة . وبالتالي تكون المسافة التي تقطعها الومضة اليسرى أقل من تلك التي تقطعها الومضة اليمنى ومن ثم نصل قبلها بما ان سرعتيهما متساويتان .



ب

شكل ٢ - ٣

الشكل (٢ - ٣) : التزامن مسألة نسبية . بالنسبة للشخص (١) تصل النبضتان الضوئيتان الى طرفي العربا في لحظة واحدة لانهما تتحركان داخل العربا بسرعة واحدة . ويرى الشخص (ب) أيضا أن النبضتين تتحركان بسرعة واحدة بالنسبة للرصيف ولكن خلال البرهة التي استغرقها مشوار النبضة (وتقدر قيمتها بـ 10^{-8} من الميكروثانية) تكون العربا قد تحركت الى موقع جديد موضح بالخط المتقطع . ولذلك يبدو للشخص (ب) أن النبضة اليسرى تصل الى الطرف الخلفي للعربا قبل أن تصل النبضة اليمنى للطرف الامامي لها .

النتيجة اذن هي أن (أ) و (ب) يسمران يوقعين مختلفين لحدث واحد . فمن منهما على صواب ؟ هل نصل بالفعل الومضتان الى طرفي العربا في وقت واحد أم أن النبضة اليسرى تصل أولا ؟ تقول نظرية النسبية ان الاحتمالين صحيحان ، فنحن لا نستطيع أن نقول ان « (أ) يتحرك وبالتالي فهو على خطأ » لان الحركة المنتظمة التي يتحركها (أ) ليس لها معنى أو مبرر علمي وما هي الا حركة نسبية بالنسبة ل (ب) . وقد يقول قائل ان القطار ثابت والأرض هي التي تتحرك في عكس الاتجاه . ولا شك أن ذلك قد يبدو أكثر اقناعا لان الأرض تتحرك بالتأكيد حول الشمس . وتقضي نظرية النسبية بعدم وجود أى اطار مرجعي مميز . فما من أحد له وضع خاص يجعله هو « على صواب » وكل من يتحرك بطريقة مختلفة عنه « على خطأ » . ومن النتائج الحتمية لتلك النظرية أن

بعض المصادفات التي كان يعتقد بصورة أو باخرى أنها تحدث بشكل هادف صارت غير موضوعية للمرة ، فهي تحدث « بالنسبة » لحالة حركة معينة . وعلى ذلك فلا تعد ، على وجه الخصوص ، مسألة تزامن حدثين منفصلين خاصية مطلقة محكومة بالحدثين ذاتهما وإنما هي نتيجة للطريقة التي تتم بها ملاحظة الحدثين . وفي المثال السابق نجد أن ما يمثل بالنسبة لـ (أ) « اللحظة نفسها » عند طرفي العربدة ليس هو ما يمثل « اللحظة ذاتها » كما يرصدها (ب) .

ولقد بدت هذه النظرة الجديدة للزمان بالغة الغرابة في مطلع الأمر . وكان الناس قبل ظهور نظرية النسبية يؤمنون بمبدأ وحدة الزمان سواء بالنسبة لشخص يركب قطارا أو آخر يقف على الرصيف أو حتى ثالث يقف على كوكب المريخ . وكان الزمان في نموذج « نيوتن » يتصف بالاطلاق والعمومية ، وبالتالي فهو لا يتغير بحسب حالة حركة المراقب ، أى أنه كان زمانا واحدا بالنسبة للكون كله . أما الآن فقد صار مفهوم الزمان ، باعتباره خلفية أو اطارا تقاس بالنسبة له الأحداث ، مقهوما خاطئا ، حيث لم يعد هناك توقيت « واحد » عام شامل .

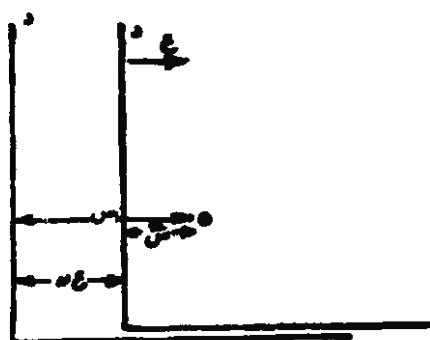
بل ان هناك من تبعات نظرية النسبية ما هو أكثر غرابة . فلو تخيلنا في المثال السابق قطارا ثانيا يحمل شخصا ثالثا يدعى (ج) ويتحرك في نفس اتجاه القطار الأول ولكن بسرعة أكبر ، فسوف يتجاوزهم ، وسوف يشعر (ج) عندئذ أن قطار (أ) يتحرك في عكس الاتجاه ، أى من اليمين الى اليسار في الشكل ٢ - ٣ . وبتحليل مسائل التحليل السابق سنجد أن (ج) سيرصد ومضتى الضوء تصلان الى طرفي العربدة في توقيت مختلف كذلك ، غير أنه سيرى الومضة اليمنى هذه المرة هي التي تصل أولا لأن الحركة بالنسبة له تجرى من اليمين الى اليسار . لقد انقلب ترتيب الأحداث عما رصده (ب) . فبينما (ب) قد رصد الومضة اليسرى تسبق الومضة اليمنى ، جاء (ج) (وهو على صواب كذلك) لرصد العكس تماما . وبذلك تكون نظرية النسبية قد نسفت علاقة قبل/بعد التي كانت تربط بين الأحداث الواقعة في أماكن منفصلة ، غير أن تلك العلاقة تظل قائمة بالنسبة للأحداث التي تجرى في مكان واحد ، أو بالنسبة أيضا للأحداث التي يمكن أن تصل ببعضها بإشارة تتحرك بسرعة تساوى سرعة الضوء أو تقل عنها . والواقع أنه ليس بوسع أى شخص أن يثير من حالة حركته بحيث يرى عجلة الزمان تدور الى الوراء في اطار مرجعي آخر . ان كل ما يمكن أن يتأثر نتيجة تغير حالة الحركة هو « المعدل » rate الذى يجرى به الوقت بالنسبة له . ورغم أن الترتيب الزمني لحدثين يجريان في مكان واحد (دقات الساعة

على سبيل المثال) لا يمكن أن يتغير ، يختلف الأمر بالنسبة للمدة التي تفصل بينهما . ويمكن بسهولة فهم السبب في ذلك ، ولكننا سنلجأ في الشرح الى استخدام بعض قوانين الجبر البسيطة ، وقد يفضل القارئ الذى لا يهوى عمليات الجمع والطرح ، تجاوز الالابات الجبرى والانتقال مباشرة الى مناقشة التأثير الناتج عن ذلك ، وهو ما يلي المعادلة (٢ - ٦) .

سب أن شخصين منتظمى الحركة (أ) و (ب) يتحركان بسرعة نسبية بينهما تساوى (ع) فى الاتجاه (س) (انظر الشكل ٢ - ٤) . ونفترض أن كلا من الشخصين ينتمى لاطار مرجعى صلب وهمى تقاس المسافات بالنسبة له ، فالشخص (أ) يقيس المسافات س من نقطة بداية فى الاطار المرجعى الخاص به ونلمز له بالعلامة (د) ، بينما يقيس (ب) مسافته (س) من نقطة بداية فى اطاره الذى يحمل علامة (د) . وبهذه (س) و (س) سيكونان مختلفين الا عند اللحظة التى يتطابق فيها الاطاران (د) و (د) وسنعتبر - دون أن نفقد صفة العمومية - أن تلك اللحظة هى نقطة البداية الزمنية أى ن = صفر . وبعد مدة زمنية (ن) سوف ترتبط (س) و (س) بالعلاقة الآتية :

$$س = س + ن ع \quad (٢ - ١)$$

حيث لابد أن نضيف الى المسافة (ن ع) تلك المسافة (س) التى قطعها الاطار (د) بالنسبة ل (د) خلال المدة (ن) . وتعد المعادلة (٢ - ١) سليمة وفقا للفيزياء النيوتونية ، ولكن لابد أن نأخذ فى الحسبان أن الزمن (ن) الذى يقيسه (أ) قد لا يتطابق مع الزمن (ن) الذى يقيسه (ب) بسبب نسبية التزامن . علاوة على ذلك فقد لا تتماشى المعادلة (٢ - ١) مع القول بأن سرعة الضوء ستظل واحدة بالنسبة ل (أ) و (ب) . ولعل أبسط تعميم للمعادلة (٢ - ١) من شأنه أن يعالج هذين التأثيرين هو أن نضعها على النحو التالى :



شكل ٢ - ٤

$$س = م (س + ن ع) \quad (٢ - ٢)$$

حيث (م) هو معامل تقترب قيمته من الواحد كلما كانت (ع) ضئيلة ، فنحن نعلم أن الفيزياء النيوتونية تمثل وصفا جيدا للمجريات الفيزيائية « اليومية » وبالتالي فإن المعادلة (٢ - ١) تعد صحيحة مادامت السرعة (ع) محدودة .

ومادامت الحركة المنتظمة تكتسب صفة النسبية ، فهذا يستوجب أن تكون العلاقة (٢ - ٢) منظرية بين (د) و (د') ، حيث يمكن اعتبار (د') هو الاطار الثابت وأن (د) هو الذي يتحرك لليسار بسرعة (ع) ، وبالتالي من موقع الشخص (ب) تكون العلاقة :

$$س' = م (س - ن ع) \quad (٢ - ٣)$$

وتفيد علامة السالب التي تسبق السرعة (ع) بأن الحركة في اتجاه اليسار .

ويمكن الآن أن نرى كيف أن المعادلتين (٢ - ٢) و (٢ - ٣) تتماشيان مع مقتضى ثبات سرعة الضوء ، التي سنرمز لها بـ ض ، بالنسبة لـ (أ) و (ب) على حد سواء . وقد نعبر عن ذلك بالقول بأن $س = ض$ ن يستوجب أن تكون $س' = ض$ ن' وبالتعويض عن

$$ض ن = م (ض + ع) ، ض ن' = م (ض - ع) \quad (٢ - ٤)$$

(س) و (س') في المعادلتين (٢ - ٢) و (٢ - ٣) نحصل على :

$$ض ن = م (ض + ع) ، ض ن' = م (ض - ع)$$

وبحذف ن و ن' تكون النتيجة

$$م = \frac{1}{\sqrt{1 - ع^2/ض^2}} \quad (٢ - ٤)$$

وبفحص هذه المعادلة نجد بالفعل أن المعامل (م) يقترب من الواحد كلما اقتربت قيمة (ع) من الصفر . لاحظ أن $س = ع$ ن في المعادلة « النيوتونية » (٢ - ١) يعطى :

$$س' = (ض - ع) ن$$

وهذا يعني أن (ب) يرى ، وفقا لمفهوم نيوتن ، سرعة الضوء تساوى (ض - ع) بدلا من (ض) .

ولفهم معنى المعامل (م) والوقوف على أهميته بالنسبة لقياس الفواصل الزمنية بين (أ) و (ب) ، سنحذف أولا (س) من المعادلتين (٢ - ٢) و (٢ - ٣) لنحصل على :

$$(5-2) \quad \left(\frac{n - \text{ع س}}{2 \text{ ض}} \right)_m = n$$

وتربط هذه العلاقة بين الزمان (ن) الذي يقيسه (ب)
والزمان (ن) الذي يقيسه (أ) عند النقطة (س) ، ولما كانت (س)
لا تتغير بالنسبة لأحداث ثابتة عند نقط محددة في الاطار (د) ، فإن
الفاصل الزمني بين أى حدثين (١) و (٢) مقاساً عند (ب) سيكون
(ن^٢ - ن^١) وسنرمز له بـ (Δn) ، ويرتبط (Δn) بالفواصل المناظر
له بالنسبة لـ (١) ، وهو ($\Delta n = n_2 - n_1$) بالعلاقة الآتية :

$$(7-2) \quad \frac{\Delta}{(\frac{1}{2} - \frac{1}{2} - 1) \sqrt{}} = \Delta_m = \bar{\Delta}$$

وتفيد المعادلة (٢ - ٦) بأن الفاصلين الزمنيين (Δt) و (Δx) ليسا سواء ما لم تكن ($c = \text{صفر}$) وهذا يعني أن الحركة النسبية بين (أ) و (ب) تؤدي إلى اختلاف قياسهما للفاصل الزمني بين حدثين . ويدهى أم هذا التأثير ، الكامن في المعامل (m) ، يعدد بالغ الضالة فيما يتعلق بالسرعات العادية في حياتنا اليومية ، وهي سرعات تقل بدرجة فائقة عن سرعة الضوء (c) ولذلك نجد قيمة (c/v) بالغة الضالة ، لو اعتبرنا حالة صاروخ ينطلق بسرعة خمسين ألف كم / ساعة فإن $c/v = 0.0007$ فقط وبالتالي $m = 1.0000000009$ بمعنى آخر ، لو أن شخصا يركب صاروخا يتبعه عن الأرض بسرعة ٥٠ ألف كم/ساعة فكل ما سيلحظه من زيادة في الفواصل الزمنية على الأرض لن تزيد نسبته على ١/عشرة ملايين جزء من الـ ٩ !

وثمة طريقة أخرى لبيان هذه الظاهرة ، وتمثل في قياس معدل تقدم الوقت في الساعات . فمن شأن ساعة محمولة في صاروخ أن تجري بمعدل أبطأ من ساعة ماثلة موجودة على الأرض . وتجدر الإشارة الى أن التأثير في هذه الحالة إنما هو بفعل المكان والزمان فقط ولا دخل فيه مطلقا لماكينه الساعة . فلا ينبغي لشخص يركب صاروخا أن يظن أن ساعة يده قد أصابها عطل أو تعمل بطريقة غير عادية . ولا جدال في أن قياس الفواصل الزمنية ، سواء بالساعة ، أو بالعقل ، أو بأية وسيلة أخرى ، من شأنه أن يكون متوافقا وبلا فوارق ، فنحن نعلم أنه يجري في اطار حقيقة واقعة تتمثل في أن الأرض ذاتها تتحرك بسرعة كبيرة بالنسبة للنجوم البعيدة ولكن دون أن تحدث أى تأثيرات زمنية غريبة . وتتسم نظرية النسبية ، التي تفيد بتباطؤ معدل تقدم الوقت ، بأنها مبنية على

نسبية الحركة المنتظمة ، ومن ثم فلا مجال لأن نقول بأن نظاما ما فى حالة حركة أم لا استنادا الى أية مشاهدة « داخلية » فى الساعة أو أى شىء آخر - وقد يفيد أن نذكر مما أنه ليس ثمة حركة منتظمة مطلقة . ولا يلاحظ تأثير الساعة ، أو ما يعرف عادة باسم تأثير التمدد الزمنى ، الا اذا نظر المرء الى منظومات أخرى هو يتحرك بالنسبة لها . ومن هذا المنطلق فإن راكب الصاروخ يرى الوقت على الأرض يجرى ببطء ، وليس فى ساعة يده هو ، وبالمثل - ونتيجة التناظر الذى تتصف به الحركة النسبية - فإن المراقب الواقف على الأرض سوف يرى الساعة المحمولة فى الصاروخ تجرى ببطء بالنسبة للساعة التى يحملها هو . ولو رجعنا الى المعادلة (٢ - ٦) فسوف نلاحظ انه عندما تقترب قيمة السرعة (ع) من سرعة الضوء (ض) ، فإن قيمة المعامل (م) تزيد بدرجة لا نهائية بحيث يبدو الفاصل الزمنى (Δt) متدا بشكل لانهاى بالنسبة للمراقب المتحرك بسرعة (ع) .

وفى الحالة القصوى عندما تكون (ع=ض) فإن (م) = ما لا نهاية . أى أنه لو تحرك شخص بسرعة تساوى سرعة الضوء فسوف يرى الوقت متوقفا تماما . ولذلك يقال « أحيانا » ان الشعاع الضوئى لا يستغرق أى وقت مهما بلغ طول المسافة التى يتحركها .

٢ - ٣ « التناقض التوأمى »

ويشكل التناقض الظاهرى المتمثل فى أن كل ساعة تعمل ببطء بالنسبة للآخرى ، بعض اللبس أحيانا بالنسبة للقارئ غير المتمرس فى هذا المجال . ولا ينبغى أن يعتقد أحد أن التمدد الزمنى هو ضرب من الوهم يعزى الى انتشار الاشارات الضوئية أو أى شىء آخر . ليست المسألة أن كل مراقب « يرى » الساعة الأخرى تعمل ببطء ، **انما هى بالفعل تعمل ببطء** - انها حقيقة علمية . وقد نلجأ الى طريقة مثيرة لتقريب ذلك الى الأذهان ، وتمثل فى تجربة يشترك فيها توأمان ينطلق أحدهما من الأرض فى صاروخ يجرى بسرعة تقترب من سرعة الضوء ، متجها الى أقرب نجم (فى برج قنطورس) ثم يعود بينما يمكث الآخر على الأرض . ويقدر زمن هذه الرحلة ، وفقا لقياس التوأم الذى بقى على الأرض ، ببضع سنوات . أما بالنسبة للتوأم الذى قام بالرحلة فإن هذا الزمن سيكون قصيرا بدرجة قد لا تكفيه لمجرد الاستمتاع بأنه يتحرك بسرعة تقترب من سرعة الضوء .

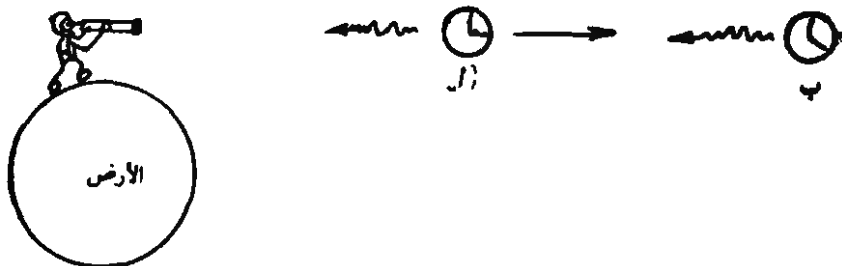
وهذا يعنى ان التوأم المسافر سيعود الى الأرض أصغر سنا ببضع سنوات مقارنة بشقيقه الذى مكث على الأرض ، لقد قام برحلة قصيرة فى زمنها مقابل فترة مدتها بضع سنين على الأرض .

وكم هو مبهر أن تفتح نظرية النسبية المجال للرحلات الزمنية !
ولو توافرت الموارد اللازمة لصنع صواريخ تتحرك بسرعة تقترب من سرعة الضوء ، فسيكون بوسع أى شخص أن يتطلق بهذه الطريقة الى ما لانهاية - صوب المستقبل . وقد نقول من قبيل التسلية ان الناس الذين يتوجهون الى أعمالهم يوميا بالقطار يسافرون (على مدى مجموع حياتهم) ما مقداره ١٠~٧ ثانية فى مستقبل نظرائهم من غير المتنقلين ، ويعزى ذلك الى مجرد الزيادة فى السرعة فى مشاوير الذهاب والعودة . ولكن تجدر الاشارة الى أنه لا يمكن استخدام ظاهرة تأثير التمدد الزمنى للعودة بمجلة الزمان الى الوراء ، فهذه العجلة لا تتحرك الا للأمام .

وقد يشعر القارئ عند هذه المرحلة أنه أمام لغز عويص ، فكيف يتأتى أن يرى التوأم المسافر الساعة تعمل ببطء على الأرض ثم يعود من رحلته ليجد نظيره أكبر منه سنا (بدلا من أن يكون أصغر سنا) ؟ وكم شكل هذا التناقض الظاهرى لغزا أمام الطلاب الدارسين لنظرية النسبية حتى أنه عرف باسم « التناقض التوأمى » . غير أنه ليس هناك فى الحقيقة أى تناقض على الإطلاق ، ويتضح ذلك لو فكرنا بدقة فيما يراه المراقبان فى الواقع . فمن شأن أى مراقبين أن يرى كل منهما الآخر عن طريق اشارات ضوئية من وإلى . ولو كانت المسافة بينهما بعيدة فسوف تكون هناك مدة تأخير ملموسة فى استقبال هذه الاشارات بسبب الوقت الذى سيستغرقه الضوء ليقطع هذه المسافة . ولتثبيت هذه الفكرة فلنلاحظ أن الضوء يستغرق نحو ثانية ليصل من القمر الى الأرض ونحو ثمانى دقائق ونصف ليصل من الشمس . أما لو كان قادما من أقرب نجم الى الأرض فانه يستغرق أربع سنوات أو يزيد قليلا . ويبعد هذا النجم عن الأرض مسافة تقدر بـ ٤٠ مليون مليون كم ، غير أنه من الأنسب وصف هذه المسافة بأربع سنوات ضوئية . ويعنى هذا التأخير أننا حين ننظر الى هذا النجم فاننا لا نراه كما هو الآن ، ولكن كما كان عليه منذ أربع

سنوات • ولو تخيلنا وجود سكان على كوكب يدور حول هذا النجم فسوف يرون حالياً الشمس على نحو ما كانت عليه قبل أربع سنوات (لاحظ اننا اعتبرنا الحاضر واحداً في الأرض وفي أقرب نجم ، وهذا افتراض مشكوك في صحته وفقاً لنسبية التزامن ، ولكن نظراً للبطء النسبي الذي تنسم به سرعة هذين الجرمين قياساً بسرعة الضوء يمكن إهمال الفوارق الناجمة عن هذا الافتراض) يتجسد إذن تأثير المدة المحددة التي تستغرقها رحلة الضوء في صورة تأخير في التزامن بين التوقيتات في المسافات البعيدة • غير أن معدل تغير الوقت لا يتأثر إذا كانت آلات ضبط الوقت مستقرة (نسبياً) في مكانها •

وقد نفترض الآن أن كلا من المراقبين يتراجع للخلف فتطول المسافة بينهما تدريجياً ، وبالتالي تزداد مدة التأخير • ويؤدي تغير التزامن إلى أن يبدو الوقت متباطئاً • ويمكن مقارنة هذا التأثير الجديد بتأثير التمدد الزمني ولكن مع وجود بعض التباين بينهما • ومن أوجه التباين بين التأثيرين أن المراقبين لو كانا يقتربان من بعضهما بدلاً من أن يتباعدتا فسوف يظهر هذا التأثير الجديد ممكوساً حيث سيبدو معدل تقدم الوقت متزايداً • علاوة على ذلك فإن تأثير التمدد الزمني يعكس نتيجة بحثة لنظرية النسبية الخاصة ، أما التأثير الآخر فهو يحدث مع كافة أنواع الحركة الموجية • فمن المألوف في حالة الموجات الصوتية مثلاً أن نسمع انخفاضاً حاداً في صوت صفارة القطار - أو صوت محرك السيارة - مع مرور المركبة من أمامنا وابتعادها عنا • ويطلق على هذه الظاهرة في المعتاد اسم « تأثير دوبلر » نسبة إلى العالم النمساوي كريستيان دوبلر **Christian Doppler** (١٨٠٣ - ١٨٥٣) • ومن شأن هذا التأثير أن يغير معدل الذبذبة الموجية ، أو ما يسمى « بالتردد » ، (وقد يكون من الملائم النظر إلى الذبذبة المنتظمة للموجات كأنها دقات الساعة) • وفي حالة الموجات الضوئية ينعكس تناقص التردد الناجم عن ابتعاد المصدر الضوئي في صورة تغير في لون هذا الضوء حيث يتجه اللون نحو النهاية الحمراء في التدرج الطيفي ، ومن هذا المنطلق يعرف أحياناً تأثير دوبلر في علم البصريات باسم « الزحزحة الحمراء » وهو يمثل الأسلوب الذي يلجأ علماء الفلك إلى استخدامه في متابعة حركة الأجرام البعيدة •



شكل ٢ - ٥

المشكل (٢ - ٥) تأثير دوبلر هي أن هناك ساعة كبيرة تتبعد عن الأرض ، وأنها كانت تدق الثالثة عند النقطة (١) على بعد مليون كم من الأرض . أن المراقب الواقف على الأرض سيرى هذا الحدث (أى الساعة الثالثة) بعد مضي نحو خمس ثوان ، وهى المدة التى تستغرقها الإشارة الضوئية التى تحمل هذه المعلومات الى الأرض . وبعد مضي ساعة من الزمن ستكون الآلة قد تباعدت الى النقطة (ب) التى تقع على مسافة مليونى كم . ولن يرى المراقب عقرب الساعة يشير الى الرابعة الا بعد مضي عشر ثوان لأن الساعة أصبحت الآن على ضعف بعدها الأول . أن الأمر سيبدو للمراقب كما لو كان الوقت يمر ببطئا . فلقد طال الوقت لمدة خمس ثوان هى كل ساعة . ولو كانت آلة ضبط الوقت مقربة فسوف تقل كل ساعة بمقدار خمس ثوان .

والواقع ان الرصد المباشر بين الأطر المرجعية المتحركة يتضمن التأثيرين معا ، تأثير دوبلر والتمدد الزمنى . غير أنه يمكن التخلص من تأثير دوبلر بالعمل على أن تكون الحركة عرضية فقط ، أى عمودية على اتجاه خط النظر لا موازية له . وقد يبعث استخدام كلمة « يرى المراقب » الواردة فى معظم المناقشات المتعلقة بالتمدد الزمنى فيما بين الأطر المرجعية الى الإيهاء بأن الأمر يقتصر على الحركة العرضية ، وبالتالي يسقط تأثير دوبلر من الحسابان . أما فى رحلة الذهاب والاياب فى تجربة التوأم فقد كان التأثيران موجودين معا .

وقد يكون من المفيد أن نتناول بالتفصيل تحليل ما يراه كل توأم بالفعل خلال تجربة رحلة الذهاب والعودة على أساس وجود التأثيرين معا . ولكى تكون المناقشة محددة ، سنفترض أن التوأم (أ) ينطلق صوب نجم قريب ، يقع على بعد عشر سنوات ضوئية ، بسرعة منتظمة $c = 0.9$ (أى ٩٠٪ من سرعة الضوء) ، وبعد وصوله الى هدفه يعود مباشرة ، بالسرعة ذاتها . وسوف نعتبر أن المدة اللازمة فى كل من بداية الرحلة ونهايتها للوصول الى هذه السرعة الخيالية والتوقف منها مدة وجيزة بحيث يمكن إهمالها . وفى أثناء الرحلة يمكث التوأم (ب) على الأرض

يراقب (أ) ، وهو منطلق بصاروخه المجهز بساعة كبيرة ، فى رحلة الذهاب .
أولا ثم وهو عائد فى رحلة الاياب .

وتفيد المعادلة (٢ - ٦) أن كلا من التوأمين سيرا ساعة الآخر
تجرى بمعدل أبدا من المعتاد بنسبة ٢/٣ بدون تأثير دوبلر . وهذا يعنى
أن التوام (أ) سيقطع مسافة السنين الضوئية العشر بسرعة (٠.٩ض)
فى زمن قدره ١.١ سنة وفقا لقياس (ب) بساعته الأرضية . ولكن
بسبب التمدد الزمنى سيرصد (أ) مدة الرحلة ذاتها بما مقداره ٤.٨٤ سنة
وفقا لساعة الصاروخ ، غير أن (ب) لن يعرف بوصول (أ) الى
النجم القريب الا بعد مضي عشر سنوات أخرى وهى المدة التى ستستغرقها
الاشارة الضوئية المسجلة لهذا الحدث لقطع مسافة السنين الضوئية العشر
التي تفصل بين النجم والأرض . وبالتالي سيرى (ب) فى الواقع رحلة
الذهاب ل (أ) تستغرق ٢.١ سنة . ولما كانت مدة الرحلة وفقا لساعة
الصاروخ تساوى ٤.٨٤ سنة ، فسيرا (ب) ساعة (أ) تنقسم بمعدل أبدا
من ساعته بنسبة ٤.٣٦ منها ٢.٣ بسبب تأثير التمدد الزمنى والباقي
نتيجة تأثير دوبلر .

ولتحديد ما يراه (أ) من (ب) وساعته خلال رحلة الذهاب ينبغى
أن نتذكر أن نظرية النسبية الخاصة تقتضى بوجود تناظر تام فى كل
ما يرصده مراقبان منتظران فى حركتهما ، وبالتالى سيكون الوضع كما
لو كان (أ) هو الساكن و (ب) يبتعد بسرعة ٠.٩ض ، ويعنى ذلك
أن (أ) سيرى الأحداث على الأرض تجرى بمعدل أبدا بنسبة ٤.٣٦
(ومرة أخرى منها ٢.٣ ناجمة عن التمدد الزمنى) . ولما كانت رحلة
الذهاب ستستغرق ٤.٨٤ سنة وفقا لساعة (أ) ، (لاحظ أنه ينبغى أن
يتفق (أ) و (ب) بشأن الوقت الذى ستسجله ساعة الصاروخ عند وصول
(أ) الى النجم) فانه لو نظر الى الأرض لحظة وصوله الى النجم فانه سيرى
الأحداث قد جرت فى مدة تساوى ٤.٨٤ / ٤.٣٦ = ١.١ سنة فقط .

أما فيما يتعلق برحلة العودة فسوف تكون أيضا سرعة اقتراب
التوأمين من بعضهما (٠.٩ض) . ورغم أن معدل تقدم الوقت سيكون
كذلك أبدا من المعتاد بنفس نسبة ال ٢/٣ مثل رحلة الذهاب ، فان
تأثير دوبلر سيكون معكوسا ، بحيث ان رحلة العودة مقاسة بساعة (ب)
لن تستغرق سوى ١.١ سنة ! كيف ذلك ؟ ان الرحلة فى مجملها ذهابا
وايابا ستستغرق فى الواقع ١.١ × ٢ = ٢.٢ سنة ، غير أن (ب) لن
يعلم بوصول (أ) الى النجم ، أى لن يعلم بانتهاء رحلة الذهاب ، وبداية
رحلة العودة ، الا بعد مضي ٢.١ سنة ، وبالتالى سيفاجأ بعد ١.١ سنة
فقط من علمه بوصول (أ) الى النجم ، يعودته الى الأرض . وبالنسبة

ل (أ) ستستغرق رحلة العودة نفس مدة رحلة الذهاب ، أى ٤٨٤ سنة وفقاً لساعة الصاروخ ، وبالتالي سيراى (ب) هذه المدة وقد ضغطت الى ١٨ سنة أرضية ، أى أن الأحداث فى الصاروخ خلال رحلة العودة ستبدو ل (ب) كما لو كانت أسرع بمعدل ٤٣٦ • وفيما يتعلق ب (أ) ، الذى كان قد رأى الأحداث على الأرض خلال رحلة الذهاب قد جرت فى ١٨ سنة فقط ، فإنه سيراى ال ٢١٨ سنة الباقية مضغوطة فى ٤٨٤ سنة هى مدة رحلة العودة مقاسة بساعة الصاروخ • وذلك يعنى أن (أ) سيراى الأحداث على الأرض وقد أسرع بمعدل ٤٣٦ • وكما نرى فحتى تأثير الإسراع يتسم بالتناظر التام بين (أ) و (ب) •

ونخلص من ذلك بأن (أ) عاد الى الأرض بعد ٩٧ سنة بساعة الصاروخ ليجد ٢٢٢ سنة قد مضت على الأرض ، وأن توأم (ب) أصبح أكبر منه سناً بفارق ١٢٥ سنة • لاحظ أن كل المشاهدات والأحداث كانت متماشية تماماً بين (أ) و (ب) فى كافة الأوقات ، وذلك يعنى أنه ليست هناك تناقضات أو مفارقات ، وأن تأثير التمدد الزمنى هو تأثير حقيقى تماماً وليس مجرد مسألة ما يرى بالإشارات الضوئية • وقد نتساءل : لماذا (أ) هو الذى يقل معدل تقدمه فى السن دون (ب) ؟ يرجع السبب فى ذلك الى أن (أ) هو الذى يغير اطاره المرجعى بأن يتعاجل حتى تصل سرعته الى (٠.٩٩) ثم يعكس سرعته بمجرد وصوله الى النجم • وهكذا ، فرغم أن التأثيرين الزمنيين كانا متناظرين تماماً بين (أ) و (ب) طوال الوقت الذى اتسمت فيه السرعة بالانتظام ، لم تكن الرحلة فى مجموعها متناظرة بسبب فترتى تغيير السرعة فى بداية رحلة الذهاب ونهاية رحلة العودة • وقد نذكر أن العجلة تعد قيمة مطلقة وفقاً لنظرية النسبية الخاصة ، ويمكن بالتأكيد أن يشعر بها (أ) نتيجة ما يتعرض له من اندفاع للخلف أو للأمام داخل صاروخه بينما لا يتعرض (ب) لمثل هذه القوة وهو يقف على الأرض • أما الانعكاس المفاجئ فى اتجاه سرعة (أ) عقب بلوغه النجم فإنه يعنى أنه بالرغم من أن معدل تقدم الوقت يقل ويتزايد بشكل متساو وبقيمة واحدة تساوى ٤٣٦ بالنسبة ل (أ) و (ب) على حد سواء ، فإن (أ) يرى أن فترة المعدل الأسرع فى تقدم الوقت تمتد بطول رحلة العودة بينما لا تمتد هذه الفترة بالنسبة ل (ب) اللمدة ١٨ سنة من مجموع زمن الرحلة البالغ ٢٢٢ سنة • ويمكن للقارئ الذى يجد صعوبة فى متابعة المناقشة السالفة أن يستعين بالجدول (٢ - ١) •

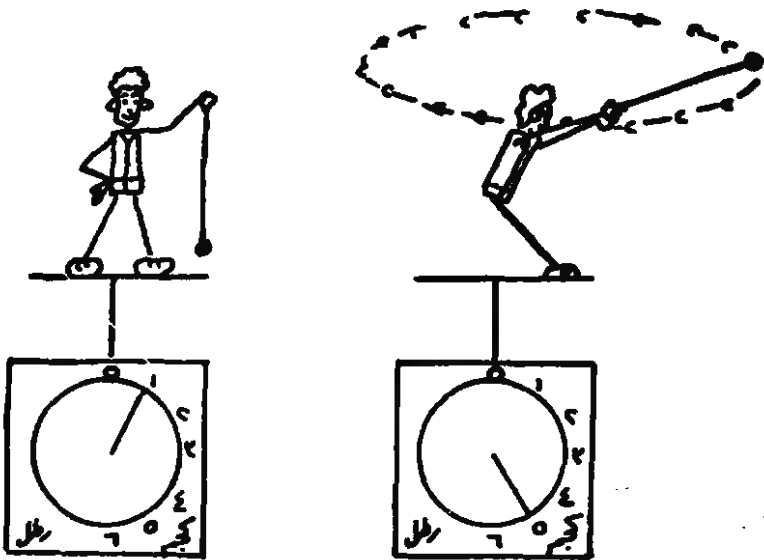
رحلة الذهاب		رحلة العودة		
ساعة الأرض	ساعة الصاروخ	ساعة الأرض	ساعة الصاروخ	
١٠	٤٠٨٤	٢١١	٨٤	(أ)
٢١١	٤٠٨٤	١٠	٤٠٨٤	(ب)

الجدول (٢ - ١) : تحليل لغز « التناقض التوأمي » : يعرض الجدول الأزمنة التي استغرقتها رحلة الذهاب والعودة مقاسة بساعة الصاروخ وساعة الأرض بالنسبة لكل من (أ) و (ب) . لقد استغرقت الرحلة في مجموعها ذهابا وعودة ٢٢٢ سنة بساعة الأرض و ٩٧ سنة بساعة الصاروخ .

ويمكن استخدام تجربة رحلة التوأم هذه في شرح نتيجة أخرى مهمة لنظرية النسبية الخاصة . فالتوأم (أ) ينطلق بسرعة (٠.٩ ض) بالنسبة للأرض ولكنه يقطع المسافة من الأرض الى النجم في مدة ٤٠٨٤ سنة صاروخية فقط ، وهذا يعنى أن هذه المسافة تبدو ل (أ) تساوى $0.9 \times 4084 = 3675.6$ سنة ضوئية فقط بدلا من عشر سنوات ضوئية على نحو ما يقيسها (ب) ، أى أن المسافة الفضائية قد تقلصت كذلك بنفس العامل البالغ ٤٠٨٤ تماما مثل الفاصل الزمني . ويعرف هذا الانكماش باسم تقلص لورينتز - فيتزجيرالد نسبة الى العالمين الهولندي هندريك لورينتز (Hendrick Lorentz) (١٨٥٣ - ١٩٢٨) والايرلندي جورج فيتزجيرالد (George Fitzgerald) (١٨٥١ - ١٩٠١) . وتتسم أيضا هذه الظاهرة بالتناظر بين المراقبين منتظمي الحركة (ومرة أخرى يعزى السبب في أن (أ) يرى المسافة أقل مما يراها (ب) الى أن النجم يعتبر في حالة سكون بالنسبة للأرض وليس بالنسبة للصاروخ) ، وهى أيضا تفيد بأن المراقب المتحرك بسرعة عالية يبدو وكأنه يذوب أو يسحق في اتجاه التحرك . ولا ينبغي أن نتصور هذا السحق - شأنه في ذلك شأن التمدد الزمني - على أنه قوة تؤثر على المراقب ، ولكنه مجرد خاصية يتسم بها الفضاء ذاته . فالمراقب المسافر لا يشعر بأى شيء غير عادى ولا يرى شيئا غير مألوف في نفسه أو منظومته ولكنه يرى بدلا من ذلك العالم الآخر يتحرك في عكس الاتجاه ، ويبدو له هذا العالم كأنه هو الذى يتعرض للسحق . ولا شك أنه كلما اقتربت السرعة (ع) من (ض) فقدت الأشياء كل معالمها وأصبحت مسطحة تماما .

٢ - ٤ أسرع من الضوء ؟

وقد يتساءل المرء ماذا يحدث لو أن جسما ما تعرض لمعالجة أوصلته إلى سرعة أكبر من سرعة الضوء . وقد نتوقع أنه إذا وصلت سرعة الجسم إلى ($c = \text{ض}$) فمن شأن الانكماش غير المحدود لطوله والتعدد الزمني الذي سينجم عن ذلك أن يضعنا حدا لسرعته بحيث لا تتجاوز سرعة الضوء . وهذه هي الحقيقة بالفعل . وتتضح طبيعة هذا الحد إذا طبقت نظرية النسبية الخاصة على الأجسام المتحركة بطاقة كبيرة . فلقد تبين أنه كلما اقتربت السرعة من ($c = \text{ض}$) زادت كمية الطاقة اللازمة لزيادة هذه السرعة . ويتطلب الأمر قدرا غير محدود من الطاقة لبلوغ سرعة الضوء . وتتجسد هذه الطاقة المتضاعفة في صورة الزيادة التدريجية في القصور الذاتي للجسم كلما علت سرعته ، وبالتالي تصاعدت صعوبة تحريكه . وفي حالة الصاروخ ، فبدلا من أن يتحول الوقود إلى قوة دافعة فإنه يتحول بشكل مضطرب إلى كتلة محمولة مضافة ، ومن ثم يرتفع وزن الصاروخ وتزداد صعوبة تحريكه .



الشكل (٢ - ٦) الكتلة المتحركة تزداد ثقلا . مع اقتراب سرعة الكتلة من سرعة الضوء يزداد تدريجيا ثقل الكتلة الدوارة . ولا تكفي كل طاقة العالم . لو توقفت ، لتدويرها بسرعة الضوء . وهذه حقيقة معروفة جيدا في التجارب العملية التي تجرى على الجسيمات دون الذرية في جهاز يعرف باسم « السيكلوترون » . أنه يظهر بالفعل أن الجسيمات المتحركة بسرعات بالغة تكتسب ثقلا رهيبا .

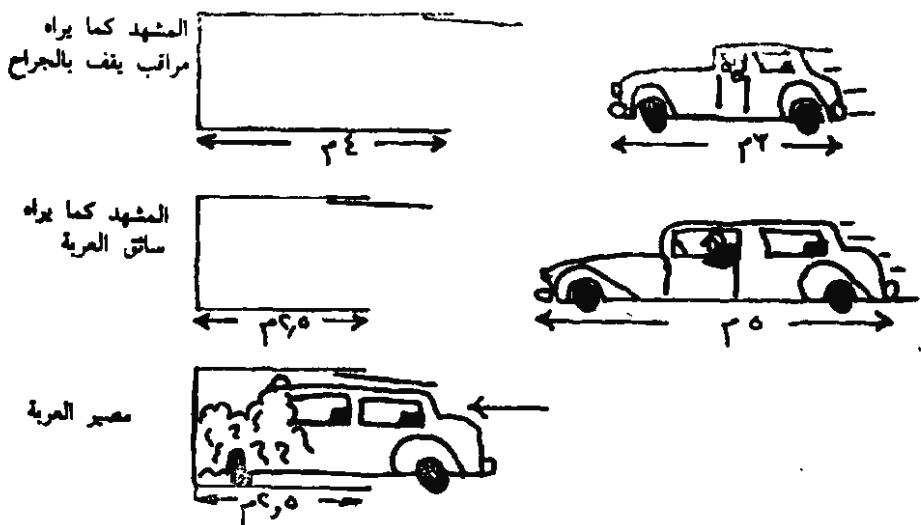
وقد يحاول المرء بحيل بارعة ، التوصل الى سرعة تتجاوز سرعة الضوء ، كان يتصور صاروخين كل منهما منطلق بسرعة ($c = 0.9$ ض) بالنسبة للأرض ولكنهما يتحركان في اتجاهين متضادين بحيث تبدو السرعة النسبية بينهما تساوى ١.٨ ض . ولكن بالقاء نظرة سريعة الى المعادلتين (٢ - ٢) و (٢ - ٥) سنكتشف أن الصورة مختلفة . فإذا كان (٠.٩) زائد (٠.٩) فى علم الحساب يساوى (١.٨) فان النتيجة وفقا لنظرية النسبية تساوى (٠.٩٩٥) ! وذلك يعنى أن التمدد الزمنى والانكماش الطولى الاضافيين سيكون من شأنهما أن تبدو السرعة النسبية التى يقيسها كل صاروخ تساوى (٠.٩٩٥ ض) بدلا من (١.٨ ض) . بل انه لو انطلقت سلسلة من الصواريخ الصغيرة المضادة فى اتجاهها ، الصاروخ من بطن الصاروخ بسرعة (٠.٩ ض) ، فلن تتجاوز محصلة السرعات النسبية مطلقا سرعة الضوء .

ولهذه الأسباب يقال دائما انه ليست هناك سرعة أكبر من سرعة الضوء . والواقع أن ذلك ليس صحيحا ، فالأجسام المادية فقط هى التى لا يمكن أن تتجاوز « الحد الضوئى » فى سرعتها . وليس ثمة أسباب معروفة تبعد على استبعاد وجود أجسام فوق ضوئية تتصف على اللوام بسرعة لا تقل عن سرعة الضوء . ولا شك أن العديد من الفيزيائيين قد سعوا بهمة خلال العقد الماضى لاكتشاف مثل هذه الأجسام (التى ستكون على هيئة جسيمات ميكروسكوبية) ، بل انهم قد أطلقوا عليها اسما هو « التكيونات » رغم أنهم لم يتوصلوا بعد الى اكتشاف أى نوع منها . ولو حدث أن اكتشفت مثل هذه الجسيمات فليس من المتوقع أن يكون تفاعلها مع المادة العادية خاضعا لأية سيطرة والا لأمكن استخدامها فى نقل الرسائل ، وذلك من شأنه أن يوجد تناقضا عجيبا ، حيث انه يعنى أن التكيونات قادرة على الرجوع بعجلة الزمان الى الوراء ، ومن ثم يبعث استخدامها كجهاز اشارة على تيسير الاتصال بالماضى . وقد يصبح بالإمكان فى هذه الحالة صنع جهاز مفخخ يمكن أن يدمر نفسه باشارة مشفرة مرسله الى الماضى فى وقت سابق على صنعه بما يلفى أساسا احتمال ارسال الاشارة ... أى تناقض هذا !!

ولعل أفضل تعبير عن حد السرعة الضوئية يتجسد فى القول بأنه ما من تأثير مادى يمكن أن يسبق الضوء فى سرعته . ومن نتائج هذه الحقيقة استحالة صنع جسم « صلب » بمعنى الكلمة . وقد نستعين على فهم ذلك « بمفارقة » ساخرة تتمثل فى عالم فيزياء (متقد الذكاء) لديه سيارة طولها خمسة أمتار وجراج لا يزيد طوله على أربعة أمتار . ان ذكاءه يصور له أنه لو قاد العربة بسرعة كافية فان تأثير الانكماش الطولى

المذكور آنفا سيصبح انقاص طول السيارة الى ما دون أربعة أمتار ، فيتمكن بذلك من وضعها في الجراج . فيركب الرجل العربية ويدور دورتين حول المضمار حتى تصل سرعته الى (٨٠-٨٥ كم/س) ثم ينجبه بهذه السرعة صوب الجراج . ولو كان هناك مراقب يقف في الجراج فانه سيرى من هذا الاطار المرجعي ، طول السيارة يقل عن ٤ أمتار ، وبالتالي ما أن تدخل العربية الجراج سيفلق الباب الآلى مطمئنا الى أنه قد احتواها !

أما بالنسبة للسائق فتبدو الأمور مختلفة شيئا ما . فبما انه موجود داخل السيارة ، فهو لا يلاحظ شيئا غير مألوف بشأن طولها ، ولكنه يكتشف فجأة أن الجراج يبدو متقلصا على غير العادة - انه متقلص في الواقع نتيجة التأثير الانكماشى ذاته ، فيبدو كأن طوله قد نقص الى نحو مترين ونصف المتر . ويكتشف العالم الذكي خطأه الفاضح الفادح



شكل ٢ - ٧

الشكل (٢ - ٧) تأثير الانكماش الطولى . يرى المراقب في الجراج أن طول السيارة البالغ خمسة أمتار ينكمش الى ثلاثة أمتار فقط اذا انطلقت بسرعة = ٨٠ كم/س ، وبالتالي سيسعها بسهولة الجراج البالغ طوله ٤ أمتار . اما بالنسبة للسائق فان الجراج هو الذى يبدو متقلصا (الى نحو ٢ متر) وبالتالي لن يحتوى العربية . والنتيجة واضحة في الصورة السفلى . فسوف تستمر مؤخرة العربية تتقدم حتى تدرك أن مقعنها قد توقفت ، فليس من شأن الرسالة أن تنتقل بأسرع من الضوء فتكون النتيجة أن تسحق السيارة وتضغط داخل حيز المترين والنصف . وكلتا النظريتين سليمة ، ومهما كان فئاسيه السيارة صلبا ، ما من مادة في الكون يمكنها أن تتحمل مثل هذه الصدمة الساحقة .

متأخرا : فلا يمكن أن يسع جراج طوله متران ونصف المتر سيارة طولها خمسة أمتار . فأى النظرتين صحيحة : نظرة المراقب الذى يرى السيارة منكشئة يسمها الجراج بسهولة ، أم نظرة السائق الذى يرى سيارته الطويلة لا يسمها الجراج المتقلص ؟

وكما اعتدنا فى عالم النسبية ، كلا المشهدين صحيح ، وتتوافق الروايتان لو تدارسنا ما يحدث للعربة الطويلة عندما تصل الى نهاية الجراج القصير . من الواضح أن السيارة ستصطدم بشكل ساحق بجدار الجراج (الذى ينبغي أن يكون بالغ المتانة) . غير أن هذا الحدث المنذر العنيف لن يوقف السيارة كمثل ما يحدث فى الأحوال العادية . فالصدمة قد حدثت بسرعة تقترب من سرعة الضوء . وأوقف الحائط مقدمة السيارة بغتة ولكن مؤخرة العربة لن تعرف ذلك الا لو انتقلت الموجة التصادمية بطول السيارة الى المؤخرة . وبما أنه لا يمكن أن ينتقل أى تأثير ، بما فى ذلك الموجة التصادمية ، بسرعة أكبر من سرعة الضوء ، فسيكون لزاما أن تنتظر مؤخرة السيارة لمدة 17×10^{-8} ثانية على الأقل (وفقا لساعة السيارة) لتعلم بوجود الحائط ، وخلال هذه الفترة ستكون قد قطعت بسرعة (٨٠ ض) مسافة قدرها نحو أربعة أمتار . ونتيجة لذلك ستضغط العربة لطول يناهز مترا واحدا وبالطبع سيسمها الجراج بطوله البالغ مترين ونصف المتر !!

وتتمثل العظة المستوحاة من هذه القصة فى أنه مهما كانت سيارتك صلبة ، ومهما كان معدنها قويا ومتينا فهناك دائما احتمال أن تتعرض لقدر من الانضغاط الذى يصل الى السحق عند السرعات القريبة من سرعة الضوء . وسوف نشرح فى الباب القادم كيف تتقلص نجوم بأكملها حتى تتلاشى ، تجسيدا لاحدى نتائج هذا السحق الناجم عن تطبيق نظرية النسبية .

٢ - ٥ النموذج الجديد رباعى البعد للمكان والزمان

ولقد كان من شأن الأفكار المتعلقة بالتمدد الزمنى والانكماش الطولى والتى تبدو منافية للطبيعة والمنطق أن أثارت للوهلة الأولى لدى بعض الناس ردود أفعال نابعة من المعارضة الغريزية . فلقد جاءت ثورة النسبية فزلزلت بشدة المفاهيم الراسخة فى أعماق وعينا ومداركنا بشأن المكان والزمان ، فكانت النتيجة أن اتجه بعض الناس لا سيما من العلمانيين ، الى التشكك فى كل شئ .

ورداً على هذا الاتجاه ، ينبغي في المقام الأول الإشارة الى أن نظرية النسبية الخاصة لم تكن بجميع المقاييس شيئاً جديداً تماماً . ولقد نشر أينشتين مقالته الأولى في هذا الصدد في عام ١٩٠٥ ، ولم تكن تمر بضعة أعوام حتى تقبل المجتمع العلمي هذه النظرية ، التي صارت منذ ذلك الحين واحدة من الركائز الأساسية للفيزياء الحديثة ، بما تشمله من مفاهيم تتجاوز بكثير الأفكار البالية المتعلقة بقطارات السكة الحديد السريعة أو الصواريخ . ولقد تم في الواقع التحقق بشكل مباشر من تأثير التمدد الزمني سواء على الصعيد دون الذري أو على المستوى المرئي بواسطة الأجسام المحلقة حول العالم . ولكن كان هناك ما هو أهم من ذلك ، ونعني أنه كان يتعين أن تصطبغ كل أفرع الفيزياء بصبغة المبادئ الجديدة المنبثقة عن نظرية النسبية . فينبغي على سبيل المثال أن تتماشى نظرية الجاذبية والقوانين التي تحكم بنية الذرة والجسيمات دون الذرية مع أفكار أينشتين . ولما تحقق ذلك ، تبين أن العديد من النتائج الجديدة تتفق مع التجارب العملية ، ومنها على سبيل المثال انشطار بعض الخطوط الطيفية الذرية ، وهو الأمر الذي بدا للوهلة الأولى أنه ليس له علاقة بالنسبية .

ولقد كانت إعادة صياغة قوانين الميكانيكا لتتفق مع مبدأ النسبية واحداً من التطبيقات التي أكدت بشكل باهر صحة النظرية . وقد ذكرنا في القسم (٢ - ٤) أن الحد الضوئي ينجم عن تحول الطاقة الى كتلة لمنع أى جسم من بلوغ المستحيل ، المتمثل في تجاوز سرعة الضوء . ويمكن لهذا التحول أن يجرى بشكل معكوس . وتعتبر عن هذا التأثير تلك المعادلة التي ربما كانت أشهر قانون وضعه أينشتين :

$$\text{الطاقة} = \text{ك} \text{ض}^2 \quad (٢ - ٧)$$

وتوضح هذه المعادلة انه يمكن الحصول على قدر ضخم من الطاقة من كم ضئيل من الكتلة لأن الجانب الأيسر من المعادلة يحتوى على مربع سرعة الضوء ، وهو رقم بالغ . وهكذا فمن شأن كتلة من المادة قدرها جرام واحد أن تولد نحو ٣٠ مليون كيلوات ساعة ، وهى كمية من الطاقة تكفى باحتياجات منزل متوسط لبضعة أعوام . ويشكل تحول المادة الى طاقة تفسيراً لمصدر طاقة الشمس (الذى كان يعد لغزاً فيما مضى) ، كما أنه يحدث بشكل أكثر وضوحاً فى عملية انفجار القنابل الذرية .

وعلاوة على ما اكتسبته نظرية النسبية الخاصة من تأكيدات واثباتات تجريبية مشهودة ، تكتسب هذه النظرية بصبغة جمالية بما تضيفه من تناظر وتوحيد على طواهر الفيزياء النظرية . فكم بدت العديد من المعادلات الرياضية أكثر « قبولا » بعد أن أعيدت صياغتها لتتماشى مع

المبادئ الجديدة ! • ويعزى ذلك ، في قدر كبير منه الى عملية توحيد المكان والزمان التي تتمخض عنها الدراسة المتعمقة للنظرية •

وكان مع الواضح ، قبل أن نتحدث عن نظرية النسبية الخاصة ، أن النموذج الذى وصفه نيوتن للمكان والزمان (النموذج الثانى) يحتاج شيئا من التعديل ليتمشى مع بعض التأثيرات مثل التمدد الزمنى والانكماش الطولى • وقد نلقى بعض الضوء على البنية الجديدة للمكان والزمان بطرح الاعتبارات الآتية :

يفترض نيوتن فى النموذج الذى وضعه للمكان والزمان أنه ليست ثمة علاقة بين الأطوال أو الفواصل الزمنية وحركة المراقب أو المنظومة ، أى أن أطوال الأجسام ومعدلات تقدم الوقت لا ترتبط بالحركة النسبية لهذه الأجسام ولا ترتبها بحركة من يراقبها • أما نظرية النسبية الخاصة فتقضى بأن أطوال الأجسام تنكمش فى اتجاه تحركها بينما يتمدد تقدمها الزمنى • ولقد رأينا فى تجربة القطار أن الجسم المتحرك الذى يتعرض لتمدد فى المكان يتمدد فى الزمان أيضا - وتذكر معا الحدثين الواقعين عند طرفى عربة القطار واللذين كان يراهما الراكب متزامنين بينما يراهما الواقف على الرصيف يقعان بفاصل زمنى بينهما • ويوحى ذلك بأنه من الأدق أن نعتبر أن الجسم قابل بصفة عامة للتمدد فى المكان والزمان معا • وقد ينظر البعض ، من قبيل التمييز والبحث ، الى تأثيرى التمدد الزمنى والانكماش الطولى على انهما انكماش فى التمدد المكانى يظهر فى صورة تمدد زمنى • ومن هذا المنطلق قد يكون ملائما أن نعتبر أن الجسم يتسم بمقدار موحد ثابت من التمدد المكانى - الزمانى على أن « يسقط » هذا التمدد على كل من المكان والزمان بنسب صغيرة نرتبها بالسرعة النسبية للجسم • وقد ينظر الى هذا الاسقاط على أنه يماثل الاسقاطات فى الفراغ العادى حيث يمكن أن يظهر خط محدد الطول ، بطول أقل كلما اقترب اتجاهه من خط البصر • وتقيد نظرية فيثاغورث بأن الطول الحقيقى لخط مستقيم يرتبط بأطوال مساقط هذا الخط على المحاور الرئيسية المتعامدة الثلاثة بالعلاقة الآتية :

$$(٢ - ٨)$$

$$ل^2 = س^2 + ص^2 + ي^2$$

حيث أن (س) و (ص) و (ي) هى أطوال المساقط على محاور الاحداثيات الثلاثة المتعامدة ، ول هو الطول الحقيقى للخط وبدراسة المعادلتين التحويليتين (٢ - ٢) و (٢ - ٥) نكتشف (باستخدام بعض العمليات

الجبرية البسيطة) أنه رغم أن (س) و (ن) هما متغيران قد يختلفان من مراقب لآخر فان (س^٢ - ض^٢ ن^٢) ليست متغيرا ، أى أن :

$$س^2 - ض^2 ن^2 = س^2 - ض^2 ن^2$$

ولو اعتبرنا الحركة تحدث في ثلاثة اتجاهات فراغية بدلا من الاتجاه السيني فقط فان هذا الفارق غير المتغير ، وقد نرسم له ب ف ، يمكن حسابه ، بعد اضافة ص^٢ + ى^٢ ، الى المعادلة :

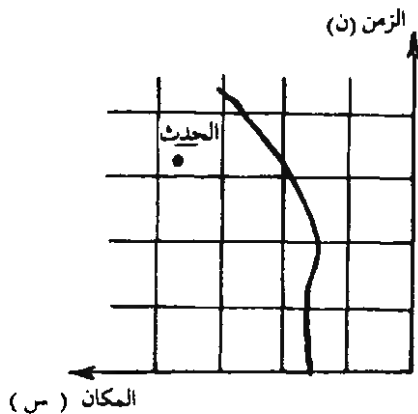
$$س^2 - ض^2 ن^2 + ص^2 + ى^2 = س^2 - ض^2 ن^2 \quad (٢ - ٩)$$

وبمقارنة المعادلتين (٢ - ٨) و (٢ - ٩) يتبين أنه يمكن بالفعل الجمع بين إسقاطات المكان والزمان في معادلة من نوع معادلة ميناغورث شريطة أن يكون الزمان (أو الفاصل الزمني) مضروبا في سرعة الضوء (ض) التي تتيج ، رغم كونها سرعة ، تحويل الفاصل الزمني الى فاصل مكاني (أى فاصل طولي) . ولكون قيمة (ض) بالغة ، فان أى فاصل زمني ضئيل يوازي مسافة كبيرة . فالفاصل الزمني البالغ ثانية واحدة يوازي فاصلا مكانيا مقداره ٣٠٠ ألف كم !!

ولما كان الجمع بين الفواصل الزمنية والمكانية هو السبيل الوحيد لتكوين مقدار ثابت (ف) لا تتغير قيمته من مراقب لآخر ، فان ذلك يستوجب بالفعل اعتبار المكان والزمان قيمتين مشتركتين ، مما يتيح تكون نموذج موحد رباعي البعد للمكان والزمان . ولقد كان هيرمان مينكوفسكى Hermann Minkowski (روسي / ١٨٦٤ - ١٩٠٩) هو أول من ناقش خصائص هذه البنية رباعية البعد ، ولذلك يعرف أحيانا نموذج المكان - الزمان ، القائم على نظرية النسبية الخاصة ، باسم « مكان مينكوفسكى » ، وانه لنموذج رياضي بمعنى الكلمة للمكان . ولا ينبغي أن يبعث ذلك على الاعتقاد بأن المكان هو قيمة رباعية البعد فعلا أو أن الزمان هو أحد صور المكان . وكل ما في الأمر أن نظرية النسبية تعتبر ببساطة أن المكان والزمان يتسمان بتداخل خصائصهما وتشابكهما بحيث لا يمكن وضع نموذجين منفصلين لهما .

ويمكن أن نفهم مسألة الجمع بين المكان والزمان بشكل أيسر كثيرا لو مثلناها برسم بياني أو خريطة مكان - زمان . ولما كانت الحرائط ثنائية البعد ، مثل تلك المرسومة في الشكل (٢ - ٨) وتتضمن خطوط الطول في الاتجاه الرأسى وخطوط العرض في الاتجاه الأفقى ، تعد شيئا مألوفا لمعظم الناس ، حيث قد يصور المنحنى المرسوم فيها مجرى نهر أو طريقا ، وتشكل النقطة فيها موقع مكان ما على سطح الأرض ، يمكن بالمثل رسم

خريطة تمثل المكان والزمان . وبدهي أنه لا يمكن رسم خريطة رباعية الأبعاد على ورقة ، وبالتالي سوف يقتصر المنحنى البياني على بيان الوقت وواحد فقط من الاتجاهات الثلاثة للمكان (وليكن الاتجاه السيني) . وبدلا من خطوط العرض (Latitude) تمثل الخطوط الأفقية في مثل هذا النوع من الخرائط أعمدة صلبة في حالة سكون بالنسبة للإطار المرجعي المعنى ، ويمثل كل خط وضع العمود عند أزمنة متسالية . أما الخطوط الرأسية (خطوط الطول Longitude) فهي تقيس المسافة من نهاية العمود . ويوضح المنحنى المرسوم في مثل هذه الخريطة المسار الذي يتحرك فيه جسم ما مع مرور الوقت . وفي حالة الشكل (٢ - ٨) كان الجسم أصلا ساكنا في الإطار المرجعي المعنى ، ثم تحرك الى اليسار قليلا ثم أسرع تجاه اليمين . يجسد اذن المسار المرسوم في خريطة المكان - الزمان « تاريخ » جسم متحرك ممثل في نقطة ، وعادة ما يطلق على مثل هذا المسار « خط العالم » (World line) وتمثل النقطة في هذه الخريطة موقع حدث ما ، أى مكان ونوقيت حدوثه .

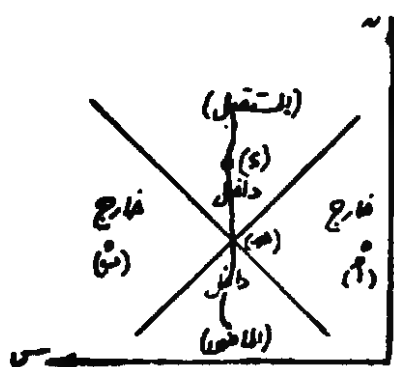


شكل ٢ - ٨

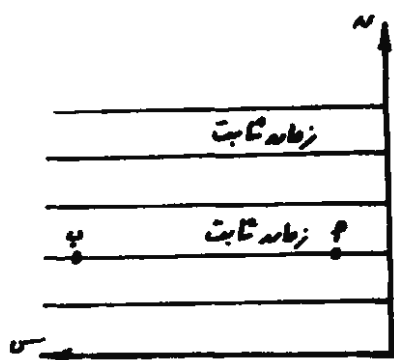
الشكل (٢ - ٨) : خريطة « الزمكان » (المكان - الزمان) تمثل النقطة في هذه الخريطة حدثا ما وقع في مكان محدد ووقت معين . ويمثل المنحنى « تاريخ » الأحداث أو تسلسلها . وتمثل « خطوط الطول » longitudes مكانا واحد في كافة الاوقات بينما تمثل « خطوط العرض » Latitudes توقيفا واحدا في كل الاماكن .

ويمكن استخدام الخرائط الزمكانية لتوضيح أوجه الاختلاف بين نموذجي نيوتن واينشتين للمكان والزمان . وقد يكون السبب الوحيد الذي يحول دون الجمع بين المكان والزمان النيوتنيين في نموذج مكان - زمان

واحد رباعي الأبعاد ، هو أن النموذج النيوتوني لا يشكل بنية جديدة ملموسة وإنما هو يعد في الواقع مجرد « مراوغة » تفنيه . ويمثل الرسم (٢ - ٩ - ١) النموذج النيوتوني للمكان والزمان ، وهو مبني على عملية تقسيم طبيعية للمكان الى شرائح ذات توقيتات موحدة . وتتسم كل النقاط الواقعة في شريحة واحدة بأنها متزامنة ، أي تجري في توقيت نيوتوني عام واحد . وما جاء هذا التقسيم الطبيعي الا نتيجة ربط المكان والزمان النيوتونيين ببعضهما بأسلوب مصطنع ، ثم أعيد ببساطة الفصل بينهما مرة أخرى . ويمكن اعتبار الإطار المرجعي في هذه الحالة ثابتا بالنسبة للمكان المطلق (أو الأثير ان فضلنا ذلك) . ومن شأن هذا الشكل للخريطة أن يتوافق مع كافة المراقبين ، بعض النظر عن حالة الحركة التي قد يكونون فيها ، وذلك لأنهم يستخدمون جميعا المكان نفسه والزمان نفسه .



(٢)



(١)

الشكل (٢ - ٩) : مقارنة بين نموذجي نيوتن واينشتاين للمكان والزمان . تمثل الشرائح الأفقية في الشكل (١) المكان كله في توقيت واحد ؛ فالحدثان (أ) و (ب) يقعان في وقت واحد . وتمتد هذه الشرائح في النموذج النيوتوني واحدة أيا كانت حركة المراقبين . أما الشكل (٢) فهو يوضح نموذج ميكوفسكي للزمان والمكان وفقا لمفهوم اينشتاين . ولا يمكن رسم هذه الخريطة بشكل سليم الا بالنسبة لمراقب واحد يكون في حالة حركة متلقمة معينة . ومع ذلك فلن يكون ثمة اختلاف بين المراقبين فيما يتعلق بمسار الضوء (الخطان المائلان) . ولتضي نظرية النسبية بأن جميع تسلسلات الحركة لجسم تعرض للحدث (ج) لابد أن تقع داخل طغي الضوء . أما الحدثان (أ) و (ب) ، الواقعان في المنطقة الخارجية ، فليس لهما ترتيب زمني محدد ولا يمكن لاحدهما أن يؤثر على الآخر لسبب ما ، ولا على الحدث (ج) . أما الحدث (د) فمن الواضح دون أي لبس أنه يقع في وقت لاحق على (ج) .

ولا يمكن في المقابل أن نحلل بهذه الطريقة النموذج الذي وضعه مينكوفسكي للمكان وفقا لنظرية النسبية الخاصة . فليس هناك تقسيم طبيعي للمكان الى شرائح ترتبط كل منها بتوقيت موحد ، لانه ليس هناك توافق بين مراقب وآخر بشأن تزامن الأحداث ولا بشأن هقايس الأطوال .

غير أن نظرية النسبية الخاصة توجد نوعا آخر من التقسيم الطبيعي على نحو ما هو مبين في الشكل (٢ - ٩ - ٢) حيث يمثل الخطان المائلان مساري شعاعي ضوء يمران يميننا ويسارا بالحدث (ح) بسرعة ثابتة (ض) . ولو اخترنا وحدات واحدة للأطوال والزمن (أى سنتيمترات طولية للأطوال على سبيل المثال وسنتيمترات ضوئية للزمان) فسوف تكون زاوية ميل الخطين 45° . وتنقسم هذه الخريطة بان محوري الاحداثيات (س) و (ن) لا يمكن رسمهما بشكل صحيح الا بالنسبة لاطار مرجعي واحد . فقد يفكر مراقب آخر في رسمهما بميل مختلف وفقا لنظرته هو للمكان والزمان . غير أن خطي الضوء المائلين بزاوية 45° سيبقيان دائما كما هما أيا كان الاطار المرجعي ، وذلك لان جميع المراقبين سيقيسون قيمة واحدة لسرعة الضوء . ومن ثم يمكن القول بان هذين الخطين سيقسمان بشكل طبيعي المكان المينكوفسكي الى منطقتين « داخلية » و « خارجية » (انظر الشكل ٢ - ٩ - ٢) . ومن شأن مسار أى جسم مادي أن يقع دائما في المنطقة الداخلية لأنه يتحرك بسرعة تقل عن سرعة الضوء . ولو رصد مراقبان مختلفان في حركتهما المنتظمة الجسم المتحرك فسوف يرى كل منهما مسارا مختلفا عن الآخر ، ولكن سيبقي المساران داخل خطي الضوء . ويفيد الشكل (٢ - ٩) بان ثبات طبيعة خطي الضوء من شأنه أن يربط التسلسل الزمني لكل حدث يقع بداخلهما بملاقة ماضى ومستقبل محددة مع الحدث الأم ذاته (ح) . وعلى النقيض من ذلك ، لا يمكن الزعم بأن هناك ترتيبا زمنيا معيناً للأحداث الواقعة خارج خطي الضوء ولا يمكن قياسها زمنياً بالحدث (ح) . ويمكن الرجوع الى المناقشة التي أوردناها بشأن القطارين المتحركين بسرعة عالية والتي تشكل مثالا لامكان انقلاب الترتيب الزمني للأحداث . ولا يقتضى انقلاب الترتيب الزمني لتسلسل الحدث ضرورة أن تعكس الأسباب والمردودات . ولما كانت كافة الظواهر المعروفة (حركة الأجسام أو الاشارات الضوئية ... الخ) لا يمكن أن تجري بسرعة تزيد على سرعة الضوء ، فليس من شأن الأحداث الواقعة في المنطقة الخارجية والتي ليس لها ترتيب زمني محدد بالنسبة للحدث (ح) أن تؤثر عليه بأي شكل من الأشكال . ولو كان هناك وجود للتاكيونات لكان بوسعها أن تنطلق في المنطقة الخارجية بما يسفر عن ذلك من انقلاب ترتيب السبب والمردود . ويفسر

ذلك ما ذكرناه آنفا من احتمال حدوث مواقف متناقضة فيما يتعلق بالتاكيدات .

وينعكس وجه الاختلاف بين الأحداث الواقعة داخل خطى الضوء وخارجهما على قيمة (ل) في المعادلة (٢ - ٩) ، ففي الداخل تكون قيمة النسبة الخاصة بالزمان في الحدث (ح) ، وهي (ض ٢ ن ٢) ، أكبر من قيمة نسبة المكان، والمتمثلة في س (أو س ٢ + ص ٢ + ٢ ي في حالة احتمال الأبعاد الأربعة) ، أى أن قيمة (ل) ستكون سالبة . وفي المنطقة الخارجية سوف تكون نسبة المكان أكبر من نسبة الزمان وبالتالي ستكون (ل) موجبة . أما على خطى الضوء ذاتهما فستكون قيمة (ل = صفر) ، وهذا يعنى أن لو اعتبرنا الحالة رباعية الأبعاد فإن المسافة المقاسة بطول الشعاع الضوئي ستكون صفرا مهما كانت المسافة التي يقطعها الضوء . وتتبع هذه الخصائص المحيرة بشأن (ل) من وجود إشارة السالب قبل (ض ٢ ن ٢) في المعادلة (٢ - ٩) وهذه تعنى انه لا يمكن قياس المسافات على خريطة المكان - زمان مثلما يحدث على خريطة المكان العادية لأن القياس يختلف باختلاف ميل الخطوط : الهندسة المستوية اذن في المكان المينكوفسكى مختلفة نوعا ما . فبالامكان على سبيل المثال أن يتسم خط موجة ، وفقا لنموذج مينكوفسكى للمكان ، بأن يكون موازيا وفي نفس الوقت متعامدا على نفسه !!

ورغم هذه السمات الغريبة ، ما من فيزيائى يشك اليوم بيقين فى سلامة نظرية النسبية فى سياق ما تناولناه آنفا من حالات . ولو كانت نظرية نيوتن سليمة تماما لظل العديد من الظواهر ، التي صارت مفهومة بتفاصيلها العميقة ، بدون تفسير . ومع ذلك فقد ظلت هناك حدود استمرت بضع سنوات لاستخدام نظرية النسبية . غير أن اينشتين نشر فى عام ١٩١٥ مغامرة فكرية هائلة ثانية تفيد بأن النظرية الخاصة لم تكن سوى تمهيد تقريبي لنظرية نسبية عامة تشمل تأثير الجاذبية . ولا يعنى ذلك أن النسبية الخاصة خاطئة وانما هى بمثابة تقريب مقبول طالما كانت قيمة الجاذبية ضئيلة بحيث يمكن إهمالها ، تماما مثلما كانت الميكانيكا النيوتونية تعتبر صحيحة مادامت السرعات محدودة .

ولسوف تقودنا نظرية النسبية العامة الى عالم تتسم فيه الأمور بمزيد من الغرابة .

الباب الثالث

عدم التناظر بين الماضي والمستقبل

٣ - ١ معنى عدم التناظر فى الزمان

وقد نتساءل ما هو سبب التغير الذى يطرا فى الكون ؟ ولماذا تتسم بعض المنظومات الطبيعية بالبقاء بشكل أو آخر على حالها بينما تتعرض نظم أخرى للتغير ، سواء أكان تطورا أم اضمحلالا ؟ وما هى طبيعة هذا التغير الأساسية ؟ فالذرة (أو على الأقل نواتها) تبقى هى الذرة رغم ما تتعرض له من تفاعلات وما يربطها من علاقات مع المحيط حولها ، ويتعاقب الليل والنهار فى انتظام يبدو أبديا . ومع ذلك نرى على سبيل المثال محركات السيارات تتلف وتبلى ، وتنحدر الرياح والأمطار سفوح الجبال ، ويولد الانسان ويشب ويهرم ويموت فى النهاية . لماذا تتوقف الساعات الأرضية عن الدوران اذا لم تملأ بينما تجرى الساعات الفلكية - التى تتحكم فى الأيام والشهور والسنوات - بلا تدخل أو مساعدة ؟

وقد شكلت مسألة محاولة فهم لماذا وكيف تتعرض أشياء دون غيرها من حولنا للتغير فصلا طويلا من التاريخ العلمى تعددت بشأنه الآراء وأثارت الكثير من الجدل . ونظرا للكم الضخم من المنظومات الطبيعية الموجودة فى الكون من حولنا ولما تتسم به هذه المنظومات من تعدد هائل وتعقيد ، كان من الطبيعى أن تاتى دراسة مراحل تطورها بشكل مستقل أينما برزت أهمية أى منها فى كل واحد من فروع العلم . وسواء كان فرع العلم المعنى هو الديناميكا الحرارية أو الاحياء أو الاحصاء أو الميكانيكا أو الديناميكا الكهربائية أو الفلك أو كثيرا غيرها ، كانت هذه المسألة تعالج دائما باستخدام الأساليب الرياضية مصبوغة بلفة أهل هذا الفرع من العلم أو ذاك . وأينما حدث تداخل فيما بين التخصصات المختلفة فى تناول هذه الموضوعات برزت اختلافات وجهات النظر وتفجر الجدل بشأن مسألة التغير والزمان . ويمكن فى الواقع تلافى قدر كبير من هذا الجدل لو أمكن فى مطلع الأمر ايضاح المفاهيم العامة وفصل المسائل العملية عن الآراء الفلسفية . وربما كانت نقطة الاختلاف الكبرى فيما يتعلق بمسألة تغير الأشياء مع الزمان ، تكمن فى اللبس بين الزمان كم تغير يدخل فى قوانين الطبيعة والزمان كما يدخل فى ذهن البشر .

ولقد أوردنا في الفصل الأول مفهوم الانسان لكل من المكان والزمان ، وأوضحنا أوجه الاختلاف النوعي الصارخ بينهما . ويتمثل أبسط ادراك في ذهن البشر للزمان في أنه « نشاط ذو اتجاه واحد » ، ويراه البعض أحيانا كتيار متدفق للوقت بينما يراه البعض الآخر كحركة للوعي والادراك « في » الزمان أو « خلاله » . وليس ثمة ادراك مناظر له فيما يخص المكان . وما كان من شأن الميكانيكا النيوتونية ، والكهروديناميكا الماكسويلية ، والنسبية الخاصة والعامة ونظرية الكم ، بكل ما طرأ عليها كلها من تعديلات رياضية ، إلا أن أبرزت بدرجات متفاوتة التماثل من حيث البنية بين المكان والزمان . ولم يحدث في أى وقت أن برزت خلال عمليات تطوير الفيزياء النظرية الحاجة لاعتبار الزمان بعدا متحركا متدفقا . بل حتى عالم النسبية انما هو موصف في خريطة استاتيكية رباعية الأبعاد . ولذلك يبعو الزمان بالصورة التي يدخل بها في معادلات الفيزياء النظرية ، أنه يفترق الى تلك الخاصية الأساسية المتعلقة بالجانب النفسي للانسان فيما يخص الزمان . وسوف نتناول بالتفصيل في الباب السابع هذا العامل الغريب ، وسوف نورد أيضا بعض الآراء التي طرحت تأييدا للاقتراح الباهر الذى يدعو الى إعادة الزمان بمفهومه كتيار متدفق ، الى مجرد وضع الوهم النفسى .

وحتى بغض النظر عن مفهوم الزمان كحركة نفسية ذات اتجاه واحد ، فمازال هناك تمييز بين الماضى والمستقبل . وقد يساعد على فهم هذا التمييز أن نمثله بشرط فيلم سينمائى . ولنفترض أن هذا الفيلم يصور تسلسل واحد من الأحداث اليومية ولتكن على سبيل المثال عملية اشتعال عود ثقاب . ويتكون الفيلم من مجموعة من الكادرات ويمكن اعتباره نموذجا طبيعيا للعالم الحقيقى . وهب أننا قطعنا الشريط السينمائى الى كادرات وخلطناها ، ثم طلبنا من أحد الأشخاص إعادة ترتيبها ، لن يجد هذا الشخص ، حتى لو لم يشهد الحدث الاصلى ، صعوبة كبيرة فى وضع الكادرات فى ترتيبها الصحيح . ويمزى ذلك الى أن عود الثقاب قد تعرض أثناء هذا الحدث للتغير بتسلسل معين بحيث انه ليس هناك سوى ترتيب واحد للكادرات من شأنه أن يعرض هذا التغير بالشكل الذى جرى به فى العالم الحقيقى .

نفترض الآن أن التجربة قد أعيدت ولكن بتصوير الحركة الترددية للبندول الساعة . ورغم أنه من الواارد هنا أيضا أن يخطئ المرء فى ترتيب الكادرات فإنه ليس هناك فى هذه الحالة مجرد تسلسل وحيد من شأنه أن يصف الحدث الحقيقى بشكل سليم . فلو كان الفيلم الاصلى يصور على سبيل المثال ، الحركة الترددية العادية للبندول ، فمن شأنه ، لو أعيد

ترتيب كادراته بشكل معكوس (أو لو عرض الفيلم بشكل معكوس) ، أن يعرض كذلك البندول في حركته الترددية العادية . ولا شك أن الشخص المراقب لو كان قد شاهد الحدث الأصلي لصار يوسعه أن يحدد أى التسلسلين يطابق الواقع (فقد يلاحظ على سبيل المثال أن البندول بدأ الحركة من الوضع الرأسى الى جهة اليمين بينما يعرض الفيلم بترتيبه المعكوس الحركة تبدأ الى اليسار) . وليست القضية هنا هى الفصل فيما إذا كان الحدث قد جرى بتسلسل معكوس أم لا ، ولكن ما يعيننا هو أن الاحتمال قائم ويتماشى تماما مع قوانين الفيزياء ومع الملابس اليومية العادية .

ومن طرق وصف مجرى الأمور في التجريبتين السابقتين هو أن نقول ان تسلسل الأحداث في الحالة الأولى يتسم « بعدم تناظر في الزمن » (asymmetric in time) كما يتصف التسلسل في الحالة الثانية بأنه « متناظر » (Symmetric) . ونبادر بالإشارة الى أن وصف « متناظر » في هذا المقام لا يستوجب بالضرورة أن يكون الحدث دوريا (periodic) ونوضح ذلك بالمثال التالى : لو أن جسما سماويا سقط صوب الشمس من مكان سحيق واتخذ مدارا قريبا حولها ثم أفلت ثانية وذهب بلا رجعة ، فلا يمكن وصف تحركه بأنه دورى ، ولكنه بالقطع يتسم بالتناظر بالنسبة للزمان بما انه قد حدث « بشكل معكوس » (reversible) . وهذا يعنى أن الجسم لو تحرك في عكس الاتجاه على المسار ذاته فلن يأتى بشئ غير مألوف وسيتوافق تماما مع قوانين الفيزياء .

وعلى النقيض من الظواهر الدورية والمتناظرة الأخرى ، والتي لا تبعث على الدهشة اذا جرت بشكل معكوس ، فإن الظواهر غير المتناظرة تتسم بأنها لو جرت بشكل معكوس فستبدو من قبيل المعجزة . فلو حدث على سبيل المثال أن امتزج عود ثقاب متفحم بسحابة دخان ساخنة فاعيد الى هيئته قبل الاشتعال ، فسيدخل ذلك بلا شك فى اطار المعجزات .

ونصل الآن الى النقطة الجوهرية : فان سمة عدم التناظر بالنسبة للزمان ، التي يصورها المثال السابق المتعلق بمجموعة كادرات الصور فى الشريط السينمائى ، ليست واحدة من خصائص الزمان ذاته ، وانما هى خاصية بنوية لمجموعة الكادرات . ولما كان الفيلم يعد نموذجا للعالم الحقيقى فان هذه الخاصية تعود أيضا على المنظومات المادية الحقيقية (عود الثقاب والدخان ... الى آخره بالنسبة لهذا المثال) . وهذا يعنى أن تفسير عدم تناظر الزمان فى الكون لا يكمن فى بنية الزمان ذاتها وانما فى بنية الكون الذى يضع صورا غير متناظرة لتسلسل الأحداث فى ترتيب زمنى واحد .

ولقد أدى الفضل في التمييز بين خاصية « عدم تناظر » الزمان ، وهي خاصية يتسم بها العالم الذي نعيش فيه - وبين الزمان كنيار متدفق أو حركة وجدانية على نحو ما تناولناها بالمناقشة آنفا - وهي خاصية تبدو على الصعيد النفسي أنها من خصائص الزمان ذاته ، الى ايجاد أجيال من اللبس واختلاف المفاهيم بشأن « أصل » عدم تناظر الزمان . وقد يبعث على فهم هذا التمييز وعلى تبديده اللبس أن يشير الى أن خاصية عدم التناظر في حالة الشريط السينمائي تعد سمة تتعلق بالشريط ذاته حتى لو وضع على هيئة كادرات متراصة فوق منضدة (أى لا دخل للزمان في شيء) ، فليس من الضروري أن يتم تركيب الفيلم وعرضه بالفعل على مدى بعض الوقت ليتجلى عدم التناظر .

ويرجع هذا الخلط بين المفهومين في جانب منه الى اختلاف دلالات الألفاظ . فكلمة عدم التناظر تمثل عادة في الفيزياء برأس سهم يشير الى اتجاه أو آخر . ويشكل دوران الأرض على سبيل المثال صورة مفيدة لعدم التناظر لأنه يبعث على التمييز بين القطب الشمالى والقطب الجنوبى : فالمرء الواقف عند القطب الشمالى سيجد الأرض تدور تحت قدمه فى عكس اتجاه عقارب الساعة بينما لو وقف عند القطب الجنوبى سيجدها تدور فى اتجاه الساعة ! وقد جرى العرف ، من قبل العادة التاريخية البحتة على رسم سهم يشير الى القطب الشمالى فى جميع خرائط ورسومات الملاحة البحرية ، ويرجع ذلك على الأرجح الى أن التطبيق الرياضى فى هذا المجال ابتكر فى النصف الشمالى من الكرة الأرضية ، كما أن العديد من البوصلات أيضا مجهزة بمثل هذا السهم . غير أن وجود سهم يشير الى الشمال فى بوصلة السفينة يقتضى لا محالة أن تكون السفينة متجهة بالفعل الى الشمال . وليس هناك ما يحول دون أن يعقد اتفاق على تجهيز البوصلات بالسهم تشير الى الجنوب . ويمكن بنفس الطريقة الإشارة الى الزمان فى هذا الاتجاه أو ذاك بحسب الاتفاق البحث . وقد وقع الاختيار فى الواقع على أن يرسم اتجاه السهم فى حالة عود الثقب بحيث تشير رأسه الى اتجاه الزمان الذى يشهد اشتعال العود بينما يشير ذيله الى اتجاه العود قبل الاشتعال . وبدلا من تسمية الاتجاه الأول « الشمال » والثانى « الجنوب » ، فإننا نطلق على الاتجاه الأول اسم « المستقبل » وعلى الاتجاه الثانى « الماضى » . ويعنى هذا الاصطلاح بالطبع أن السهم يشير أيضا فى اتجاه التدفق الذى يتفق مع المفهوم الوجدانى للزمان . ومثلما أنه ليس ثمة ما يفرض على السفن أن تتحرك شمالا فإن وجود سهم يشير الى المستقبل كعلامة على وجود عدم تناظر فى الزمان لا يقتضى أن يأتى تدفق الزمان من الماضى الى المستقبل . وقد يحدث بالتأكيد أن يكون لدينا



شكل ٣ - ١

الشكل (٣ - ١) : سهم الزمان : تجرى العديد من المنظومات في اتجاه زمني واحد . ويطلق على هذا الاتجاه اسم « المستقبل » ، ويمكن أن يرمز له بسهم . ويوضح السهم أن العالم يتسم بعزم التناظر ، حتى أن لم يكن يصح أية حركة خلال الزمان . أنها ظاهرة وجدانية أصلها غامض .

انطباع بذلك ، ولكن ليست لهذا علاقة (ظاهرية) بعزم تناظر الزمان . وكم من مؤلف تحدث عن « سهم » الزمان أو « اتجاه » الزمان دون أن يميز بين عدم تناظر الزمان من ناحية وتيار الزمان من ناحية أخرى ! .

ويتغلغل طابع عدم التناظر الزمني في حياتنا اليومية على نطاق واسع لدرجة أن محاولة تصنيف هذه الظاهرة تبدو للوهلة الأولى مسألة مربكة للغاية . ويعد النشاط البيولوجي واحدا من أبرز مصادر التغير غير المتناظر ، فحياة الانسان تبدأ بمولده طفلا ثم يشب وينمو وريدا رويدا ويتقدم به العمر الى أن يتعرض للتغير الحاسم المفاجيء المتمثل في الموت . وليس من الوارد مطلقا أن يقل عمر الانسان مع مرور الوقت . ويتسم قدر بالغ من التغيرات في البيئة المحيطة بنا بأنها بيولوجية . كما يعد النظام الاجتماعي للانسان مصدرا آخر للتغيرات غير المتناظرة مثل التطور الثقافي وتطور التعمير في المدن والتطورات التكنولوجية ، بل أن الأراضي القاحلة سرعان ما تموج بالحركة والنشاط ما أن تلج فيها الحياة . ويعد التطور البطيء للأجناس ذاتها مثالا آخر مهما للتغير البيولوجي غير المتناظر .

ويحتاج تكديس المعلومات الكثير من التغير الفكري ، ففي كل مكان تتكدس التسجيلات الخاصة بالأحداث السابقة ولكن ليس بالنسبة للأحداث المستقبلية ، فالمكتبات تمتلئ بالكتب ، وامتلىء الرمال على الشواطئ ، بآثار الأقدام . . . الخ . ويعد الكثير من المعالم في البيئة الأرضية بمثابة تسجيلات لهذا الطابع . ولا شك أنه رغم تكديس المعلومات بشكل شامل فإن المعلومات الدقيقة المحددة تضيع وتتلشى . فمن شأن ظاهرة المد والجزر على سبيل المثال أن تمحو آثار الأقدام . ودائما ما نكون عملية اضمحلال المعلومات ذات اتجاه زمني واحد : فليس من شأن خط تليفوني مشوش أن يفيد المحادثة ، بل على العكس فإنه يقلل كمية المعلومات المتبادلة بين المتحدثين .

وتعد ظاهرة عدم التناظر أيضا سببا لكثير من التغيرات في المحيط غير الحي من البيئة ، فالثلج على سبيل المثال يتحول الى مياه والمياه تتحول الى بخار ، ولو وضعنا قطعة من الثلج في إناء به ماء في درجة الغليان فسوف تذوب وتتحول الى مياه ساخنة ، ولا يمكن أن يحدث العكس ، أي لا يمكن أن تتجمد مياه ساخنة في التو بينما تحيط بها مياه في حالة غليان . وهناك عدد كبير من التغيرات غير المتناظرة التي تتسم بطابع التبدد والتلاشي ، منها على سبيل المثال الخلل بكافة صوره ، حيث انه يتجه دائما الى الانتشار والاضمحلال ، فالحرارة تشع من الأجسام الساخنة ، وتنتقل الى الوسط المحيط بالجسم ، كما أن الغاز ينتشر ويتبدد في الجو ، ولو تولدت أمواج في مياه راكدة فإنها تنتشر وتهدأ تدريجيا حتى تتلاشي ، والتيارات الهوائية مثل الرياح ، « تعصف بنفسها للخارج » ، وتشتت الحرارة والضوء من الشمس والنجوم وينتشران في الفضاء المحيط ، وهلم جرا .

والواقع أن التغير غير المتناظر بالنسبة للزمان يعد سمة تشمل كل الظواهر الطبيعية تقريبا . بل اننا لو تتبعنا على نطاق زمني طويل تلك المجريات التي تبدو للوهلة الأولى متناظرة ، فسوف نكتشف أنها ليست كذلك . فمن شأن بندول الساعة على سبيل المثال أن يتباطأ تحت تأثير الاحتكاك والمقاومة الهوائية الى أن يقف تماما ، وذلك ما لم يكن ثمة محرك يدفعه . وما هذا المحرك أيضا الا جهاز ذو طابع تبددي . وحتى الأرض تتعرض في دورانها حول الشمس لمقاومة ضعيفة ناجمة عن الوسط الفضائي المنتشر فيما بين الكواكب . ويمكن بالتقريب تلخيص المسألة بأن نقول ان عدم التناظر في الوقت هو سمة كل الأنشطة على النطاق المحسوس .

ومن الملاحظ في الجانب الأعظم من كل هذه الأمثلة أننا يمكن أن نفهم الخطوط العريضة لطبيعة ما ورد بها من تغير ، وذلك عن طريق تحليل

فرع واحد فقط من فروع العلم الطبيعي وهو الديناميكا الحرارية . وإذا كان هذا العلم قد خصص فى مطلع الأمر لمناقشة انتقال الحرارة بين النظم المختلفة ولبحت أداء المحركات الحرارية ، فقد أصبحت الديناميكا الحرارية الحديثة - بعد أن تعمقت وبلغت مسنوى بالغ الدقة بفضل الميكانيكا الاحصائية - تغطى قدرا فائقا من الموضوعات حتى انها صارت تشمل تقريبا كل نطاق الظواهر الطبيعية اليومية المعتادة . بل ان ما طرأ حديثا من تقدم مثير فى الميكانيكا الاحصائية (فى مجال عدم التوازن الفائق) قد أوجد أسسا جديدة فى الديناميكا الحرارية تتيح فهم الحياة ذاتها . ولو قمنا النغير البيولوجى من منظور عدم التناظر الزمنى فسنجد أنه يمكن اعتباره فرعاً من فروع الديناميكا الحرارية . بل ان نظرية المعلوماتية الحديثة (information theory) يمكن أن تعاد صياغتها فى مفاهيم توازى عن قرب مفاهيم الديناميكا الحرارية والميكانيكا الاحصائية ، ويمكن الآن اعتبار الاضمحلال غير المتناظر للمعلوماتية مثالا لأحد المبادئ العامة فى الديناميكا الحرارية .

غير أنه ما زال هناك جانب من المجريات المتسمة بعدم التناظر الزمنى لا يتصل طابعها بشكل مباشر بالديناميكا الحرارية . فموجات الراديو على سبيل المثال تصدر من جهاز الارسال وتنتشر فى الفضاء بسرعة الضوء . أما المجرى المعكوس للأمور ، أى وصول موجات راديو من جميع الاتجاهات من الفضاء الخارجى فى توقيت واحد لتتجمع فى جهاز الارسال ، فلا يبدو شيئا واقعا بالمرة . وبمزيد من المبالغة نقول انه لا يمكن استقبال رسالة راديو قبل أن ترسل ! فلا بد أن يأتى الاستقبال بعد الارسال . ولا يمكن فهم هذا النوع من عدم التناظر - ومثله بالنسبة لأنواع أخرى من الموجات - بشكل مباشر عن طريق دراسة الديناميكا الحرارية .

ويعد علم الكونيات مجالا لمناقشة التغيرات الكونية الكبرى . فنحن نصيى فى كون متمدن تتطور معالها فى خطوطها العريضة مع الزمان . وفى الطرف الآخر ، يشتمل العالم دون الذرى على جسيم غريب يعرف باسم الميزون (K^0 meson) . ولا يبقى هذا الميزون على حاله الا لمدة 10^{-10} - ثانية يتحلل بعدها الى ثلاثة جسيمات أخرى . والشئ المثير للدهشة هو أن المجرى المعكسى للأمور ، أى تجمع الجسيمات الثلاثة لاعادة تكوين الميزون ، لا يتبع بدقة التسلسل الزمنى العكسى للتحلل (على عكس حال كل الجسيمات الأخرى) . ومن ثم يتسم تحلل الميزون باتجاه زمنى محدد .

وسوف نتناول موضوع علم الكونيات فى البابين الخامس والسادس . غير أننا لن نذهب الى أبعد من ذلك فى مناقشة موضوع الميزونات ، حيث

لا يبدو أنها ذات تأثير كبير على عدم التناظر الزمني بصفة عامة رغم ما تنسم به من مسلك مثير للاهتمام . وسوف نتناول في هذا الباب أولا طبيعة عدم التناظر ومصدره بالنسبة للظواهر التي تحدثل التوصيف وفقا لمبادئ الديناميكا الحرارية ، ثم نلقى بعد ذلك بعض الضوء على موضوع انتشار الموجات بصفة عامة والموجات الكهرومغناطيسية بصفة خاصة .

٣ - ٢ اللاعكوسية (irreversibility) والنظرية الثانية في الديناميكا الحرارية :

ذكرنا في القسم السابق أن قوانين الديناميكا الحرارية وضعت أساسا لوصف أداء المحركات الحرارية . ويعد ما يسمى بالقانون الأول للديناميكا الحرارية قاعدة نظرية تقول بأن الحرارة هي واحدة من صور الطاقة ، وكشأن كل صور الطاقة ، يمكن للحرارة أن تتحول من صورة الى أخرى . وتعد المحركات البخارية آلات رائعة تحول الطاقة الحرارية الى طاقة حركية ، بينما يحول السخان الكهربى الطاقة الكهربائية الى حرارة . وتنسم الطاقة في جميع الأحوال بأن مقدارها الاجمالى ثابت . وهذا هو ما يعبر عنه القانون الأول أو ما يسمى بقانون بقاء الطاقة .

وتكمن الحرارة في الأجسام فى صورة حركة جزيئاتها . ويؤدى ارتفاع الحرارة الى اضعاف مزيد من السرعة على حركة الجزيئات . وهي حركة سريعة بحق . وتبلغ سرعة تحرك جزيء الهواء النمطى فى درجة الحرارة العادية بضع مئات من الأمتار فى الثانية . وعندما يتصل جسمان مختلفان فى درجة حرارتهما ، فإن الجزيئات السريعة فى الجسم الأسخن ترتطم بجزيئات الجسم الأبرد وتنقل اليها بعضا من طاقتها ، فتنتقل بذلك الحرارة من الجسم الساخن الى الجسم الأبرد . وسرعان ما تتساوى درجة الحرارة ، فتتوقف عملية الانتقال ، ويقال ان الجسمين قد بلقا مرحلة التوازن الحرارى (وذلك اذا كان الجسمان معزولين عن أى مصدر حرارى آخر) .

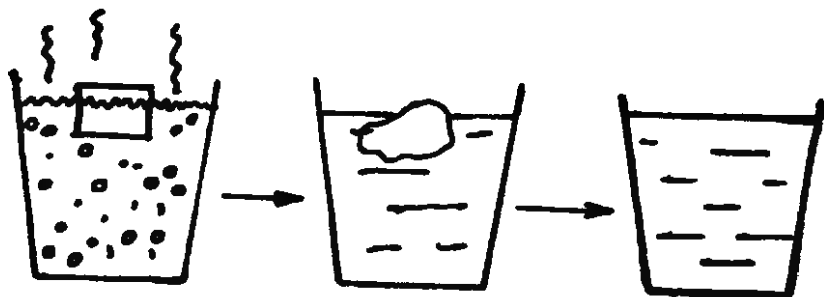
ونستنتج من ذلك مبدأ عاما مؤداه أنه ما من نظام من شأنه - فى حد ذاته - أن ينقل الحرارة من درجة أقل الى درجة أعلى ، ودائما ما يكون تدفق الحرارة من الساخن الى البارد . وعادة ما نعبر عن هذه الخاصية بوصف عملية الانتقال الحرارى بأنها لا عكوسية . ويمكن بالطبع أن تجرى العملية بشكل معكوس وتعود الحرارة من جسم بارد الى جسم ساخن ولكن باستخدام آلية خارجية . وتعد الثلاجات مثلا لذلك ، حيث انها تطرد الحرارة من داخلها الى خارجها . غير أن ذلك لا يتم الا عن طريق

عملية لا عكوسية أخرى تتمثل في استهلاك نوع ما من الطاقة الخارجة اللازمة لتشغيل الملاجئ .

وتجسد عملية اشعاع الحرارة من الأجسام الساخنة ثم تبديدها في الجو المحيط الأقل سخونة ، واحدة من صور القانون الثاني للديناميكا الحرارية . ولا ريب أن هذا القانون يتسم بعلم التناظر الزمني لأنه لا مجال فيه لأن تجرى الأمور بشكل عكسي وتنتقل الحرارة من البارد الى الساخن . ومنذ أن صيغ القانون الثاني بلغة التدفق الحرارى اتضح أنه يتسم بقدر فائق من العمومية ، وأنه يصف ظاهرة عدم التناظر في الزمن لعدد كبير من الحالات المتنوعة .

ولتوسيع مجال القانون الثاني بحيث يشمل أنواعا أخرى من الحالات المتسمة باللاعكسية ، أدخل الفيزيائيون كما جديدا أطلقوا عليه اسم « الانتروبيا » (Entropy) . وتمد الانتروبيا في تعريفها الدقيق معاملا رياضيا ، غير أنه يمكن أن يحتمل تفسيرات طبيعية متعددة . وثمة وجهة نظر مفيدة تصف الانتروبيا بأنها مقياس لعدم الانتظام ، أى ان المنظومة التى تتصف ببنية جيدة منتظمة تتسم بانتروبيا محدودة ، أما المنظومة التى تزيد فيها الانتروبيا فهى منظومة تتسم بالفوضى وعدم الانتظام . والانتروبيا الخاصة بمنظومة تتكون من جسم بارد قريب من جسم آخر ساخن تعد بشكل ما أقل من الانتروبيا الخاصة بالمنظومة ذاتها اذا كان الجسمان فى حالة توازن حرارى . ويعزى السبب فى ذلك الى أن الحرارة الكامنة فى المنظومة من شأنها أن تكتسب قدرا أكبر من الانتظام اذا كانت هناك فرصة لأن تبقى أساسا فى الجسم الساخن عما لو انتشرت بشكل منتظم فى المنظومة كلها . بمعنى آخر تتسم الحالة الأولى بمقدار أكبر من البنية .

ويبحث ذلك على إعادة صياغة القانون الثاني للديناميكا الحرارية بحيث يفيد بأنه من المستبعد تماما أن تقل الانتروبيا فى أية منظومة . وتبادر على الفور بتقييم هذا النص بضرورة أن تكون المنظومة « معزولة » أى موجودة فى حاوية محكمة لا تسمح بتسرب الحرارة إليها . ومن الواضح أنه لو تهيأت الفرصة لحدوث تفاعل بين نظم خارجية والمنظومة المعنية فمن الجائز أن تقل الانتروبيا ، كان نستخدم مضخة حرارية على سبيل المثال لنقل الحرارة من جسم بارد الى جسم ساخن . ومع ذلك يؤكد القانون الثانى أن مجموع الانتروبيا فى المنظومة الشاملة التى تتضمن (فى حالتنا هذه) المضخة الحرارية ومصدر طاقتها وسائر المنظومة ، يتزايد دائما (أو على الأقل يبقى ثابتا) . خلاصة القول ، يفيد القانون أن الانتروبيا فى الكون لا يمكن أن تقل .

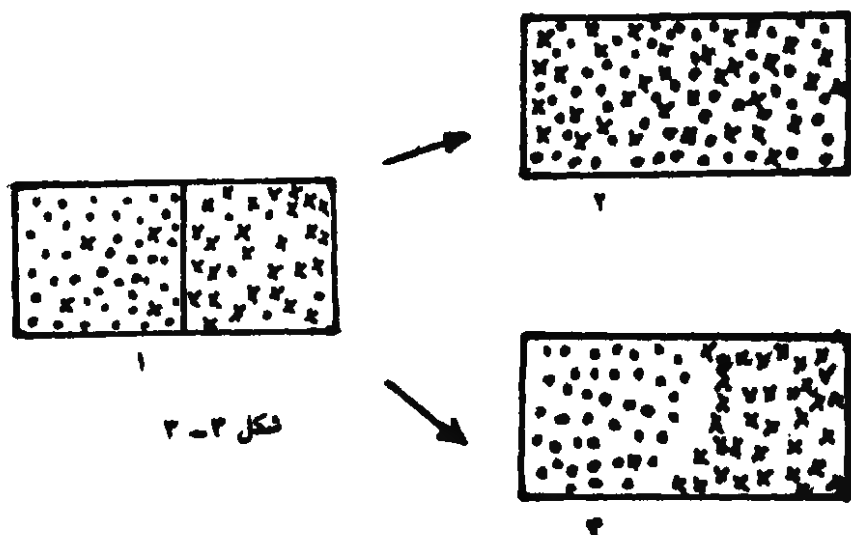


الشكل ٣ - ٢ القانون الثاني للديناميكا الحرارية . ينظم القانون الأول « كمية » الطاقة في صورة حرارة ، بينما يتناول القانون الثاني اسلوب تنظيمها . وقد عبر العالم البريطاني لورد كلفين (Lord Kelvin) (١٨٢٤ - ١٩٠٧) عن القانون الثاني بعدم اجازة تدفق الحرارة من الاجسام الباردة الى الاجسام الساخنة . وعلى ذلك فمن شأن المياه الساخنة ان تذيب الثلج ولكن ليس من شأن الثلج ان يجعل المياه تفل ، اى ان الترتيب الزمنى للاحداث يجرى دائما من اليسار الى اليمين على نحو ما هو مبين في الشكل . ويتسم القانون الثاني اذن بقدر اكبر كثيرا من العمومية . انه افضل القوانين المعروفة المنظمة للنشاط الطبيعي واقربها الى المنطق .

ويمكن ، باستخدام هذا المفهوم للانتروبيا ، الربط بين حالة التوازن الحرارى والحد الأقصى من الانتروبيا . فمن شأن أى تغيير يحدث في منظومة معزولة أن يؤدي الى زيادة الانتروبيا فيها ، وعندما تصل المنظومة في نهاية المطاف الى حالة التوازن ، فلا مجال لحدوث مزيد من التغيير ، وبالتالي لن تعلق الانتروبيا أكثر من ذلك ، أى أنها تكون قد بلغت حداها الأقصى .

ويمكن أيضا الربط بين الانتروبيا والمعلومات . فلو اتسمت منظومة طبيعية بقدر كبير من النظام ، فسوف تحتاج قدرا كبيرا من المعلومات لوصفها ، أو يمكن القول من زاوية أخرى انها تحتوى على قدر كبير من المعلومات . وفي المقابل يقل حجم المعلومات في أية منظومة تتسم بالفوضى . ويمكن أن ندلل على ذلك بترتيب الحروف في صفحاتنا هذه ، فلو رتبنا بتسلسل سليم ، فسوف تتجسد المعلومات في صورة كلمات وسطور وفقرات ... الخ . أما لو وضعت بشكل عشوائى فلن يستفيد القارىء شيئا يذكر منها . ويمكن اذن تعريف المعلومات بأنها « انتروبيا سالبة » (negative entropy) أو (negentropy) على نحو ما يطلق عليها أحيانا . وهذا يعنى أنه كلما زادت الانتروبيا قلت المعلومات .

ومن مميزات صياغة القانون الثانى للديناميكا الحرارية فى صورة قانون للانتروبيا أنها تضىء عليه مزيدا من العمومية . ومن هذا المنطلق ، نلاحظ أن المثال الذى سنستعين به كثيرا فى هذا الكتاب لشرح القانون لا يتضمن بالمرء أى انتقال للحرارة ، وهو يتمثل فى الآتى : هب أن لدينا نوعين من الغاز (أ) و (ب) موجودين فى حاوية محكمة تعزلهما تماما عن العالم الخارجى . وتتكون الحاوية (انظر الشكل ٣ - ٣) من صندوق مقسوم الى غرفتين يفصل بينهما سور . ويوجد فى الغرفة اليسرى خليط يتألف من ٩٠٪ من الغاز (أ) و ١٠٪ من (ب) بينما يوجد فى الغرفة اليمنى خليط آخر يتكون من ٩٠٪ (ب) و ١٠٪ (أ) . ماذا سيحدث لو رفعنا السور الفاصل بين الغرفتين ؟ ان جزيئات الغاز المتحركة عشوائيا بسرعة كبيرة سوف تنتشر بعد فترة قصيرة فى الغرفتين وتنتزج ببعضها وسرعان ما يصبح الخليط منتظما بحيث يتكون تقريبا من ٥٠٪ (أ) و ٥٠٪ (ب) فى كلتا الغرفتين . ولا شك أن هذه العملية تتسم بعدم التناظر فى الزمان لانه ليس من الوارد أن نجد وعاء ممتلئا بخليط من



الشكل ٣ - ٢ قانون زيادة الانتروبيا . تمثل النقط فى هذا الشكل الغاز (أ) بينما تمثل العلامات (x) الغاز (ب) وعنما يرفع السور من الصندوق يمتزج الغازان . ويسمى الترتيب فى الشكل (١) بترتيب أكبر من الترتيب منه فى الشكل (٢) وبالتالي تقل الانتروبيا فى (١) عن (٢) . غير أن ذلك يتطلب أيضا حجما أكبر من المعلومات لوصله . ومن غير الوارد مطلقا أن تقل الانتروبيا بصورة ذاتية كما هو مبين فى الشكل (٣) (٤) أى ليست هناك منظومة معزولة لديها القدرة على إجراء تنظيم ذاتى) .

الغازين ثم يحدث فجأة أن يفصل الغازان من تلقاء ذاتهما ويتجه كل منهما الى أحد جانبي الوعاء . ويشكل قانون زيادة الانتروبيا وصفا جيدا لعملية الخلط ، فالوضع في الحالة الأصلية - عندما كان الغازان منفصلين - كان بلا شك أكثر انتظاما (ويحتوى على قدر أكبر من المعلومات) وبالتالي كانت الانتروبيا أقل منها في حالة الفوضى التي صاحبت عملية المزج بعد رفع السور .

وبتعميم هذا المثال نستنتج ذلك المبدأ المستمد من الطبيعة والذي يقول بأن النظام يفسح المجال للفوضى !

وبعد هذا المبدأ مألوف بالنسبة للحياة البشرية . فلا شك أن تحقيق أى انجاز على درجة عالية من النظام والبنية يعد أصعب كثيرا من مجرى الأمور بشكل معكوس : فمن السهل تدمير منزل وتحويله الى كوم من الحجارة بينما تشكل إعادة بنائه صعوبة كبيرة . غير أنه ثمة منظومات يبدو للوهلة الأولى أنها ذات بنية طبيعية وأنها تناقض قانون الانتروبيا ، فمن شأن المنظومات البيولوجية مثلا أن تتطور وتتحول الى بنيات أكثر تعقيدا ، ولو تحول سائل الى هيئة بلورية فإن بنيته الذرية ستكون أكثر ترتيبا عنها في الحالة السائلة وحلم جرا . ولكننا لو أمعنا النظر في هذه المجريات فسوف نكتشف أن الانتروبيا الإجمالية لكل منظومة و « محيطها » تزداد دائما ، فالنشاط البيولوجي على سبيل المثال لا يستمر الا بفضل الزيادة في انتروبيا ضوء الشمس التي تعد مصدرا للطاقة لكل صور الحياة على الأرض . ولو وضعنا نباتا أو حيوانا داخل صندوق محكم ، فسرعان ما سيفنى مؤكدا المبدأ القائل ان النظام في ظل العزلة ينهار ويتحول الى فوضى .

ولقد جرت في عام ١٨٦٦ أول محاولة لشرح كيف يتسنى أن يفسح النظام المجال للفوضى ، وقام بها العالم الأسترالي لودويج بولتزمان Ludwig Boltzmann (١٨٤٤ - ١٩٠٦) . ولم يكن المفهوم الذي للمادة قد تبلور بعد عندما طرحت فكرة الانتروبيا في الديناميكا الحرارية ، ولذلك فقد طرحت على مستوى الكميات المحسوسة (macroscopic) درجة الحرارة والضغط في الغازات في حالات التوازن . ثم جاءت أعمال العالم الألماني رودولف كلاوزيوس Rudolf Clausius (١٨٢٢ - ١٨٨٨) وجيمس كليرك ماكسويل James Clerk Maxwell في منتصف القرن التاسع عشر وتضمنت محاولة لوصف أوجه التباين بين الحالات الغازية المختلفة عن طريق توصيف جوانب الاختلاف في تركيباتها الجزيئية . وكان العلماء في ذلك الحين يعتبرون الجزيئات ذاتها جسيمات ضئيلة

متحركة تخضع لقوانين الميكانيكا النيوتونية ، وكانوا يضعون القوانين التي تحدد خصائص الغازات في حالات التوازن - مثل درجات الحرارة والضغط - استنادا الى الدراسات التحليلية الرياضية لتأثير الحركة الاجمالية لعدد هائل من الجزيئات المتماثلة . وانطلاقا من وجهة النظر الميكروسكوبية هذه كان ضغط الغاز يعرف بأنه مجموع قوة الصدمات بالغة الضعف الناجمة عن حركة الجزيئات وارتطامها بجوانب الوعاء . وكانت درجة الحرارة تعرف من منظور سرعة الحركة الجزيئية ، فكلما كانت حركة مكونات الغاز أسرع ارتفعت درجة حرارته . وكانت الحرارة الاجمالية للغاز تعرف بأنها مجموع الطاقة الناجمة عن كل هذه الحركة (وقد يضاف الى ذلك بعض الطاقة الناتجة عن الحركة الدورانية الداخلية وذبذبة الجزيئات ذاتها) .

وقد حاول بولتزمان أن يوسع نطاق تطبيق نظرية الحركة الجزيئية هذه لتشمل حالات عدم التوازن وذلك في اطار السمي لايجاد وصف رياضى يبين كيف يمكن لمنظومة أن تتغير بشكل ذاتى من حالتها الأصلية الى حالة التوازن . وتتفق هذه العملية ذات الاتجاه الزمنى الواحد مع أساس مبدأ عدم التناظر الزمنى في العالم الطبيعى . ورغم أن أبحاث بولتزمان انحصرت فى دراسة نموذج بالغ الخصوصية يمثل أحد الغازات المعزولة فى صندوق محكم ، لم تكشف دراسة نماذج أخرى أخف قيودا أية مبادئ أساسية جديدة تتعلق بعلم التناظر الزمنى .

وتفيد أبحاث بولتزمان بأن كل حالة بعينها لغاز معزول فى صندوق (محددة بتوزيع معين للحرارة والضغط وسائر الخصائص الأخرى) تتماشى مع عدد من البدائل المختلفة لمواقع جزيئاتها المنفردة وتحركاتها . وتحتاج بعض الحالات تحقيق قدر أكبر من الترتيب قياسا بغيرها . فهناك على سبيل المثال عدد أكبر من الطرق التى تحقق توزيع الغاز بشكل منتظم فى الصندوق عما لو كان مطلوبا أن تكون كل كمية الغاز محصورة فى ركن صغير منه . وهناك من ناحية أخرى عدد محدود نسبيا من الطرق لجعل الجزيئات كلها تتحرك فى اتجاه واحد بينما هناك عدد ضخم من بدائل الملابس التى تجعل حركة الجزيئات كلها عشوائية . وهكذا ، كلما كانت الحالة أكثر نظاما قل العدد الملائم من بدائل الترتيبات ، وهذا يعنى أن حالات الانتروبيا العالية يمكن أن تتحقق بعدد من الطرق يفوق نظيره فى حالات الانتروبيا المنخفضة . وفى ظل هذه النظرية الجزيئية للغازات ثمة حالة واحدة يمكن أن تتحقق بعدد من الترتيبات الميكروسكوبية يفوق كثيرا مثيله فى الحالات الأخرى ، وهذه هى حالة الانتروبيا القصوى التى تتناسب مع الحد الأقصى من الفوضى . ويمكن القول إذن ان التوازن هو

الحالة التي يمكن « على الأرجح » أن تتحقق لو كانت الجزيئات موزعة توزيعا عشوائيا .

وتقوم فكرة بولتزمان بشأن تطور حالة الغاز صوب التوازن ، والتي عبر عنها بما أسماه نظرية H (H. theorem) على الدمج بين قوانين الميكانيكا النيوتونية (التي نصف حركة الجزيئات) وبين ما افترض بشأن الكيفية العشوائية التي يتجه بها النموذج الغازي الى اعادة ترتيب ذاته .

وكان يعتقد أن اعادة الترتيب الجزيئي تأتي نتيجة ارتطام الجزيئات ببعضها ، فمن شأن هذه العملية أن تؤدي الى تغير خلط (reshuffling) الجزيئات ، ولو حدث ذلك بدرجة كافية من العشوائية فسيوضح كيف يتحول غاز من حالة تتصف بقدر معقول نسبيا من الانتظام - وبالتالي قلة الانتروبيا - الى حالة التوازن المتسمة بقدر كبير من الفوضى . ويعزى ذلك على وجه التحديد الى أن عدد الترتيبات الميكروسكوبية غير المنتظمة تفوق كثيرا عدد الترتيبات المنتظمة . ويمكن تشبيه تلك العملية بمجموعة من أوراق اللعب مرتبة بدقة ثم أعيد خلطها عشوائيا . وكم هو بعيد احتمال أن يأتي هذا الخلط العشوائي بترتيب منظم للأوراق ! .

وقد وضع بولتزمان افتراضا احصائيا بشأن طبيعة الارتطامات الجزيئية مؤداه أن حركة الجزيئات المقبلة على الارتطام هي واحدة سواء أوقع الارتطام أم لا ، وذلك لأن الجزيئات « لا تعرف » ما اذا كان الارتطام سيقع أم لا ، وبالتالي فلا مجال لأن يتأثر بأي شكل من الأشكال تحركها السابق على الارتطام . أما الحركة بعد الاصطدام فهي تتأثر بلا جدال بما اذا كان الحدث قد وقع أم لا .

وقد أطلق بولتزمان على هذا الافتراض اسم (stossahlanstaz) بمعنى افتراض الفوضى الجزيئية . ومن شأن الجزيئات المتحركة عشوائيا أن تخل سريعا بترتيبها المنتظم . وركز بولتزمان في أعماله على محاولة ايجاد اثبات رياضي قوى لهذا النموذج الذي طرحه لمسلك الغاز . وقد لجأ في هذا السياق الى تعريف كم أسماه « H » ترتبه قيمته بمدى ما تنصف به الجزيئات من ترتيب . وتقيد نظرية (H) بأنه ليس من شأن قيمة (H) الا أن تزيد مع الزمان . وهذا يعنى أن (H) ما هي في الواقع الا تعبير عن الانتروبيا . وهكذا أصبحت نظرية (H) هي التفسير أو التعبير الذري المباشر لقانون زيادة الانتروبيا . ولقد سلطت هذه النظرية الضوء على الآلية التي يجرى بها الأداء غير المتناظر زمنيا لمنظومات الديناميكا الحرارية . ولذلك فهي تعد بحق واحدا من الانجازات الشامخة للفيزياء النظرية . غير أن الشيء الوحيد الذي شاب نظرية (H) هو ذلك التناقض الجوهرى المحير

الذى تكرر ظهوره بصورة أو باخرى فى سياق الجدل الذى ناز بشأنه
على مدى قرن من الزمان .

٣ - ٣ تناقض خاصية المعكوسية

وليس هناك أدنى شك فى أن أية نظرية تقوم على أسس الميكانيكا
النيوتونية وحدها لا تشكل اثباتا لقانون زيادة الانتروبيا فى أية منظومة
معزولة . والسبب فى ذلك بسيط وهو أن الميكانيكا النيوتونية تتسم
بالتناظر الزمنى ، وهذا يعنى أن أية حركة للذرات تتفق مع قوانين نيوتن
لا بد أن لها شكلا معكوسا فى الحركة يتفق كذلك مع هذه القوانين . أى أن
كل ارتطام وكل مسار للذرات (وفقا لنموذج بولتزمان) لا بد من وجود
شكل معكوس له . وليس من شأن مبادئ الميكانيكا النيوتونية - التى
تقوم عليها النظرية برمتها - أن تميز بين اتجاه زمنى وآخر . ولما كان عدم
التناظر لا يمكن أن ينبج عن التناظر ، فهذا يعنى أن القول بأن نظرية
بولتزمان ، التى تفيد بأن الانتروبيا تزيد بشكل غير متناظر زمنيا ، تقوم
على مبادئ الميكانيكا النيوتونية وحدها هو قول خاطئ . ولن يغير من
الامر شيء ، بالنسبة لهذا الاعتراض ، ما عرف بعد ذلك من خطأ الميكانيكا
النيوتونية فى وصف حركة الذرات . ولن تفيد كذلك الاعتبارات العلاقية
فى هذا المجال . إذن ، فمادام بولتزمان قد أثبت أنه لا مجال للانتروبيا
الا لأن تزيد ، فلا شك أن هناك شيئا ما متعلقا بعدم التناظر الزمنى ،
بالاضافة الى الميكانيكا .

وكان ج . لوشميت J. Loschmidt هو أول من نشر فى عام ١٨٧٦
اعتراضا على « التفسير الميكانيكى للبحث » لقانون زيادة الانتروبيا .
وكانت نظرية بولتزمان تنص على الآتى : اختر أية حالة لغاز ما ، واعمل
على حلوث بعض الارتطامات بين جزيئاته بحيث تحصل على حالة جديدة ،
سوف تجد أن الانتروبيا فى الحالة الجديدة لا يمكن أن تقل عنها فى الحالة
الأصلية . وقد نقض لوشميت هذه النتيجة بأن توصل الى حالات جديدة
قلت فيها الانتروبيا عن الحالات الأصلية . وما هذه الحالات الجديدة
ببساطة الا معكوس الأوضاع النهائية فى الحالات السابقة . فلو تصورنا
أن كل الجزيئات فى حالة انتروبيا عالية قد عكست فجأة حركتها « بفصل
السحر » فسوف « يعود » الغاز الى حالته الأصلية المتسمة بقدر أقل من
الانتروبيا . ويرجع السبب فى ذلك الى أنه اذا كانت كل حالة ارتطام
جزيئى فردية تتسم بالمعكوسية ، فلا بد أن تنسحب هذه السمة على الحركة
الشاملة للغاز . ونستنتج من اعتراض لوشميت انه ليس من شأن كل
حالات الغاز أن تؤدى بالضرورة الى زيادة الانتروبيا .

وثمة اعتراض آخر طرحه أ . زرميلو E. Zermelo ويتعلق أيضا بما تتسم بها قوانين الميكانيكا المعنية هنا من تناظر زمني . وكان هنري بوانكاريه Henri Poincaré (فرنسي ، ١٨٥٤ - ١٩١٢) قد وضع نظرية عامة بشأن المنظومات الميكانيكية المعزولة التي تخضع لقوانين الميكانيكا المتسمة بخاصية العكسية . وتقول هذه النظرية بأنه من شأن مثل هذه المنظومات أن تعود مرات ومرات بغير حدود الى حالة قريبة بدرجة أو بأخرى من أية حالة أصلية محددة . ونستنتج من ذلك انه من شأن أى غاز معزول فى صندوق محكم وفى حالة انتروبيا منخفضة أن يعود الى حالة انتروبيا منخفضة أخرى قريبة من حالته الأصلية . وما من طريقة يعود بها نظام ما الى حالة انتروبيا منخفضة دون أن تتعارض مع نظرية (H) لبولتزمان .

وتتسم نظرية بوانكاريه بدرجة من الاثارة والغرابة حتى اننا سنتوقف قليلا - من قبيل الفكاهة - عند بعض تبعاتها . وقد نعبر عن هذه النظرية بطريقة كوميدية بأن نقول ان أى شيء يمكن أن يحدث فى أية منظومة معزولة تماما سيحدث ويحدث ويتكرر بغير حدود ! ولنضرب مثالا لذلك بغرفة معيشتي ولنفترض انها معزولة تماما عن العالم الخارجى . ماذا سيحدث فى هذه الغرفة بعد وقت طويل ؟ قد نجد المنضدة ترتفع الى السقف ، وقد نرى الزهور الموجودة عليها قد دببت فيها الحياة بعد أن تكون قد ذبلت وتحللت منذ أمد بعيد ، بل قد أبعت أنا ذاتي فيها مرات ومرات ، وقد تتجه كل ذرات الهواء الموجودة فى الحجرة وتتكلس فى واحد من أركانها . كل ذلك وأى شيء غيره يمكن أن يحدث ويتكرر مرات ومرات ، ولكن ثمة مشكلة وحيدة وهى انه ينبغى أن ننتظر لوقت طويل للغاية الى أن تقع مثل هذه الأحداث الغريبة . وربما كان ما أسماه بوانكاريه بزمن التكرارية (Poincaré recurrence time) أى الزمن بين التكرار والتكرار - هو أطول مدة تكهن بها انسان ، فهى تقدر قيمتها بـ 10^{51} ، حيث (ن) هو عدد الجسيمات التى تتكون منها المنظومة المعنية . وتقدر قيمة (ن) بالنسبة للفرد الواحد والمحيط المباشر من حوله بزهاء 10^{26} ذرة ، أى أن رقم بوانكاريه سيصل الى 10^{51} ، وانه لرقم يحتاج مجهودا لاستيعابه : انه واحد على يمينه 10^{26} رقما !! . ولا يهم هنا أن نعبر عن هذا الرقم بالكثافة أو حتى بممر الكون ، فماذا يعنى ١٢ رقما اضافيا أو نحو ذلك قياسا بعدد 10^{26} من الأرقام على يمين الواحد . ان نظرية بوانكاريه تفيد بإمكان حدوث المعجزات ولكنها نادرة بدرجة لا يمكن حتى تخيلها .

ومن ناحية أخرى ، من البدهى أن يكون هناك اعتراض على افتراض عزل غرفة معيشتي عزلا كاملا ، فذلك أمر مستحيل ، وهو اعتراض فى

محله . غير اننا لو تكلمنا على نطاق أوسع كثيرا فسنقول ان الكون كله كان يعتبر في وقت من الأوقات منظومة معزولة ملامثة لأن تطبيق عليها نظرية بوانكاريه ، بل ان بولتزمان يرى أن الحالة الراحنة للكون انما هي واحدة من المعجزات التي يتحدث عنها بوانكاريه . وعلى أية حال سوف نتناول ذلك الموضوع وغيره من المستجدات القريبة في البابين الخامس والسادس .

ولعلنا نمود الى الموضوع الرئيسى وهو نظرية بولتزمان وما أثارته من اعتراضات بشأن العكسية ، لا سيما بعد أن أصبحت خلاصة هذه الاعتراضات واضحة . وقد ذكرنا أن بولتزمان استخدم قوانين الميكانيكا النيوتونية علاوة على أنه افترض وجود حالة من الفوضى الجزئية . غير أن هذا الافتراض لا يمكن أن يكون دائما صحيحا . ولفهم الطريقة التي لا يتحقق بها هذا الافتراض فلندرس بمزيد من العناية ، التفاصيل الدقيقة لحركة الجزيئات . فلو ركزنا الانتباه على مجموعة صغيرة من مثل هذه الجزيئات تتحرك عشوائيا فى الصندوق بسرعة عالية وترتطم ببعضها باستمرار ، وتنتقل فى كل لحظة من اطار حركة لاطار آخر ، فسوف نلاحظ أن المسلك الجماعى لهذه المجموعة الصغيرة يجرى بشكل عادى فى معظم الوقت ، فهناك على سبيل المثال عدد من الجزيئات يتحرك يمينا بينما يتحرك عدد آخر شمالا وهلم جرا . ولكن قد يتصادف لحظيا أن تنتظم الحركة فى خطوط مستقيمة أو تتخذ شكلا جماعيا موحدا خلال مجرى الأحداث .

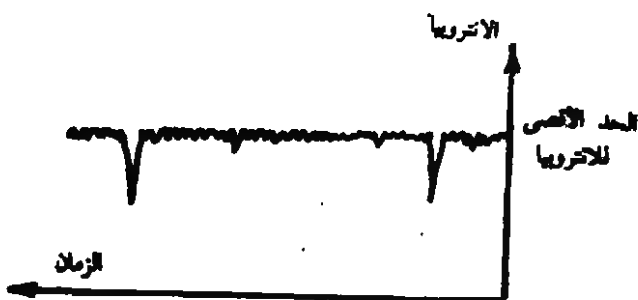
وتفيد إحدى النظريات الاحصائية البسيطة بأن احتمال حدوث هذه الاستقامة التلقائية اللحظية فى حركة الجزيئات يتضاءل بشكل حاد كلما زاد عدد الجزيئات المعنية . وبالتالي فإن احتمالات أن تتخذ كل جزيئات الغاز فى الصندوق شكلا موحدا للحركة (كان تتحرك على سبيل المثال فى لحظة واحدة لتتكس فى نصف الصندوق) هى احتمالات متناهية الضالة ، ولكنها ليست مع ذلك معدومة تماما . ونستنتج من ذلك أن الانتروبيا يمكن أن تنخفض ويمكن لها فى حالة غير منتظمة أن ينتقل لحظيا وبشكل تلقائى الى حالة أكثر انتظاما وشكل أكثر ترتيبا ، غير أن ذلك احتمال يكاد يكون فى الواقع مستحيلا . ولو شئنا الاستمانة بمثال محدد فلنعد مرة أخرى الى مثال الصندوق المقسوم المبين فى الشكل ٣-٣ . واستنادا الى نظرية بوانكاريه سوف تأتى - لحظة - وتتحرك فيها كل جزيئات الغاز (ب) الموجود فى الغرفة اليسرى ، صوب اليمين بينما تتحرك كل جزيئات الغاز (أ) الموجود فى الغرفة اليمينية ، صوب اليسار . ولو تصورنا أن الفاصل بين الغرفتين قد رفع فى هذه اللحظة ، فسوف يفصل الغازان مرة أخرى على نحو ما هو مبين فى الشكل

٣ - ٣ (٣) . غير أن احتمال أن يأتى رفع الحاجز فى اللحظة ذاتها التى يقع فيها مثل هذا الحدث بالغ الندرة هو احتمال ضئيل بدرجة تبعث على الصعید العمل على اعتباره معدوماً . ولا شك أن المنظومات الطبيعية المألوفة تحتوى على عدد من الجزئيات يبلغ من الضخامة ما يجعل الزيادة فى الانتروبيا أمراً شبيهة محقق ويمكن اعتباره واحداً من قوايين الطبيعة .

وانطلاقاً من هذا التفسير الاحصائى الجديد للفوضى الجزئية يمكن الوفاق بين نظرية بولتزمان وأوجه الاعتراض عليها بشأن مسأله الميكوسية . فلو كانت هناك منظومة فى حالة انتظام نسبى تتسم بانتروبيا منخفضة ، فمن شبه المؤكد أنها ستعمل سريعاً على إعادة ترتيب نفسها لتصل الى حالة أقل انتظاماً وبالتالى ذات مقدار أعلى من الانتروبيا . غير أن ذلك ليس بالأمر الحتمى . وفى المقابل ، وبالتناظر ، من المرجح تماماً أن تكون المنظومة قد وصلت الى هذه الحالة من الانتروبيا المنخفضة انطلاقاً من حالة فى الماضى تتسم بمقدار أعلى من الانتروبيا . وذلك يعنى أن أية حالة عشوائية تتسم بمقدار منخفض من الانتروبيا من المرجح تماماً أن يكون هذا المقدار قريباً من أدنى حد يمكن أن تصل اليه . وقد يسر فهم هذه المسألة أن ندرس المسلك بعيد المدى لغاز معزول فى صندوق على نحو ما هو مبين فى الشكل ٣ - ٤ . ان من شأن مثل هذا الغاز فى معظم الأحيان أن يكون قريباً من حالة التوازن متسماً بحد أقصى من الانتروبيا نتيجة ما تتصف به جزئياته من عشوائية التوزيع وتبادل الانتشار والتحرك فى كافة الاتجاهات . وتأتى بين الحين والحين موجة عارضة ضعيفة تخل بهذا التوازن فنكتسب المنظومة لحظياً مقداراً من البنية ما تلبث أن تتلاشى سريعاً نتيجة الارتطامات العشوائية .

وقد يحدث فى حالات بالغة الندرة أن تأتى موجة كبيرة بالفعل تجعل الانتروبيا تنخفض بشكل حاد ، كأن تتجمع على سبيل المثال كل الجزئيات فى نصف الصندوق . ولا شك ان مثل هذه الحالة ستقع بالتأكيد بالقرب من قاع واحد من هذه الفتوات لان عدد البروزات الصغيرة يفوق كثيراً عدد الفتوات الكبيرة . وقد نلاحظ أن منحنى الانتروبيا عند قاع الفتوات يتسم بالتناظر بالنسبة للزمان ، وبالتالى يعتبر افتراض فوضى الجزئيات افتراضاً جيداً عند هذه النقطة ، غير أنه ينطبق بشكل متماثل سواء أكان اتجاه الزمان للأمام أم للخلف .

وتتمثل فائدة نظرية بولتزمان فى أنها تصف كيف يمكن أن ينتقل نموذج غاز من حالة انتروبيا منخفضة الى حالة توازن ، ولكنها لا تفسر



شكل ٣ - ٤

الشكل ٣ - ٤ لا مجال لأن يختلف المستقبل عن الماضي بالنسبة لصندوق محكم يحتوى على غاز . وقد يحدث أن تقل الانتروبيا عن الحد الأقصى نتيجة عملية إعادة ترتيب عارضة تضع الجزيئات لحظيا في حالة جماعية موحدة . وتظهر هذه الحالات على هيئة بروزات في الرسم البياني . ومن الواضح أن البروزات الكبيرة تحدث بمعدل أقل كثيرا من معدل البروزات الصغيرة ، ويبين الرسم بوضوح أن التغيرات في الانتروبيا ليس لها اتجاه معين بالنسبة للزمن .

لماذا يحدث ذلك دائما في اتجاه زمني واحد - من الماضي الى المستقبل . لقد اختفى عدم التناظر الزمني من نموذج بولتزمان !

٣ - ٤ افتراض وجود نظم فرعية

ولو نظرنا الى الشكل (٣ - ٤) فسوف نلاحظ على الفور أن الغاز المعزول بصفة مستديرة في صندوق ، لا يتسم مسلكه بعدم التناظر ، حيث يؤدي به طول الاهد الى أن تكون « زيارته » لحالات الانتروبيا المنخفضة بالغة الندرة رغم أن الانتروبيا تتزايد وتتناقص بنفس المعدل تقريبا . ويوضح الشكل أن الأمر يتساوى سواء أكان اتجاه الزمان يمينا أم يسارا .

ولا شك أن المنظومات الحقيقية ليست كذلك النموذج ، فعدم التناظر الزمني هو واحد من حقائق الحياة ، ولذلك لابد في العالم الحقيقي أن تختلف صناديق الغاز اختلافا جوهريا عن نموذج بولتزمان . فما هي أوجه الاختلاف هذه ؟

ولن تجدى كثيرا محاولة دراسة نموذج أكثر واقعية من نموذج بولتزمان . ولكن الاجابة على هذا السؤال تنبع من سؤال آخر سابق عليه وهو كيف تنتقل منظومة حقيقية الى حالة انتروبيا منخفضة . ومن

خصائص نموذج بولتزمان أن أية حالة انتروپيا منخفضة عشوائيا تشكل على الأرجح حدا أدنى من الانتروپيا ناجما عن موجة أخرجت الغاز لحظيا من حالة التوازن . وليس من المقبول منطقيا أن نتوقع حدوث مثل ذلك الأمر فى المنظومات الحقيقية . فلو كنت سائرا على شاطئ البحر وصادفت قلعة رملية نصف مغموسة ، فسوف أستنتج أنه كانت هناك قبل ذلك قلعة رملية كاملة . ولو رجعنا الى مفهوم بولتزمان فسنجد أنه يفترض أن القلعة الرملية كانت على الأرجح أقل بنية عما رأيتها وليس العكس ! ومع ذلك ، ورغم يقينى بأن عوامل النحر المتمثلة فى الريح والماء والجزر سيكون من شأنها أن تزيل تماما القلعة الرملية وتسويها بالأرض (وتعد الحالة المستوية هى حالة التوازن) فلا يبعثنى ذلك على القول بأن الريح والماء والجزر لابد أيضا أن كان من شأنها أنها أتت فى بداية الأمر بمعجزة تكوين هذه البنية . فالشاطئ ليس بمنظومة معزولة تماما ، ولابد أن يكون هناك شخص قد بنى هذه القلعة الرملية قبيل رؤيتى لها . ولم تصل المنظومة الى أنتروبيتها المنخفضة وحالتها المنظمة بفضل موجة عارضة بالغة الندرة من الهواء والماء والجزر عصفت بالرمال فشكلتها على هيئة قلعة ، من العالم الخارجى وليس بموجات عشوائية .

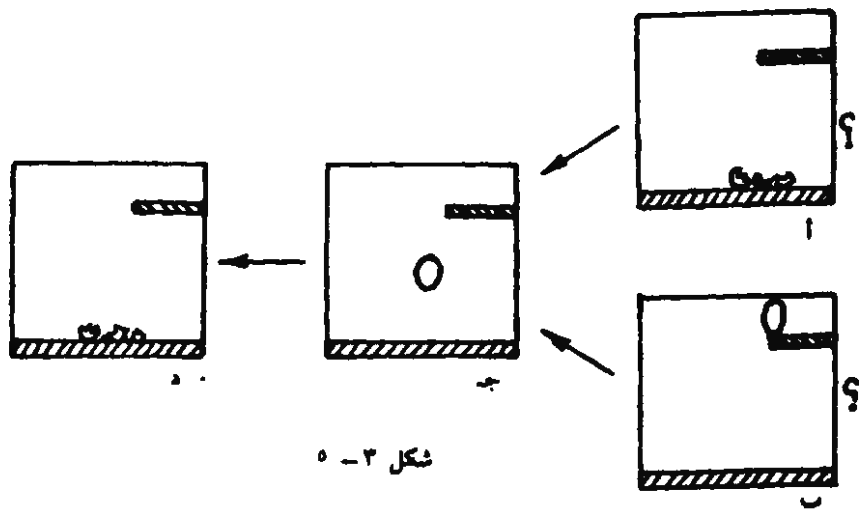
ولو عدنا الى حالة الغازين (أ) و (ب) فى المثال المذكور آنفا فسنجد انه يمكن ، وفقا لمفهوم بولتزمان ، تحقيق التوزيع الأصلى فى هذا المثال (وهو ٩٠٪ و ١٠٪) ، عن طريق الانتظار طويلا حتى تحدث المعجزة ويتعرض خليط متماثل من الغاز لموجة خلل تحوله من ٥٠٪ و ٥٠٪ الى هذه الحالة الأصلية ثم يوضع الحاجز بعد ذلك فى مكانه . أما فى العالم الحقيقى فلا يمكن أن تحدث مثل هذه العملية ، بل سيأتى شخص بدلا من ذلك ، ويفتح ببساطة صندوقا فارغا ويضع فيه الغازين بالنسبة المطلوبة . من شأن المنظومات الحقيقية إذن أن يتحقق فيها الترتيب بتدخل من العالم الخارجى وليس موجات عشوائية .

وقد يفيد أن ننظر الى تلك المنظومة باعتبارها شيئا جديدا جاء نتيجة هذا التدخل الخارجى . وفى حالات عديدة لا يكون لبعض المنظومات وجود فى الأصل قبل حدوث التدخل الخارجى ، مثل حالة مكعب الثلج على سبيل المثال عندما يوضع فى مياه فى درجة الغليان . ولا جدال أن كل المنظومات فى العالم الحقيقى لابد وأن تكون قد تكونت فى مرحلة سابقة بواسطة المحيط الأوسع نطاقا .

ولكى نميز بين المنظومات الحقيقية ، التى تكونت بانتروپيا منخفضة نتيجة انفصالها عن سائر الكون ، وبين المنظومات المعزولة من قبيل نموذج بولتزمان ، سوف نستخدم الاصطلاح الذى أدخله الفيلسوف الألمانى

هانز ريشينباخ Hans Reichenbach (١٨٩١ - ١٩٥٣) لوصف النوع الاول وهو « المنظومات الفرعية » ، وتنتمي كل المنظومات الحقيقية الى نوع او آخر من المنظومات الفرعية . وهناك في الواقع شجرة كاملة متدرجة من الافرع بحيث يرتفع كل فرع بفرع آخر بحسب تدرجه . وسوف نتناول في الباب السادس هذه الشجرة بالتفصيل .

ومن شأن المنظومة الفرعية المكونة توا أن يتسم مسلكها بعلم التناظر في الزمان ، لأنها تكونت بفضل نوع من التدخل الخارجي . وهذا يعني أن عدم التناظر يمكن في التدخل الخارجي وليس في المنظومة ذاتها .



شكل ٣ - ٥

الشكل ٣ - ٥ المنظومات الحقيقية هي منظومات فرعية . لو صادت بيضة تسقط من رف كما هو مبين في الشكل (ج) فسوف اتنبأ بأنها سترتطم بعد ذلك بالأرض وتحطم كما في الشكل (د) . ولن يحدث أن أعود بفكرى الى الوراء وأزعم أنها مكسورة قبل أن أراها كما في الشكل (ا) ، بل اذا شئت قلت انها كانت على الرف كما في الشكل (ب) وتدهرجت فسقطت . ولو كانت المنظومة معزولة ، على غرار نموذج بولتزمان . لكان الوضع (١) القرب كثيرا الى الصحة من (ب) ولكن في العالم الحقيقي يكون التسلسل المنطقي هو الوضع (ب) يليه (ج) ، اما اذا جاء (ج) بعد (١) فانه يعد بمثابة معجزة . فلا يمكن أن يتحول (١) الى (ج) الا اذا اتعد حطام البيضة والأرض فاعيد تكون البيضة ثم نظرت لأعلى في حركة منظمة ثم سقطت مرة أخرى وتحطمت من جديد . ولو تم التسلسل على هذا النحو (١) - (ج) - (د) لكان متناظرا من حيث الزمان ، اما لو تم التسلسل على هذا النحو (١) - (ج) - (د) لكان متناظرا من حيث الزمان ، اما التسلسل (ب) - (ج) - (د) فهو غير متناظر . فإذا أردنا إذن أن نعرف أصل عدم التناظر علينا أن نسأل : « كيف وضعت البيضة على الرف ؟ » .

غير أن هذه المعلومة الجوهرية المفيدة لا تنطوي على تحديد للاتجاه الذى يتخذه عدم التناظر ، ولا تفيد أيضا بما اذا كان عدم التناظر ، فى كل مرة تقيم فيها منظومة بأنها منظومة فرعية ، يتخذ دائما نفس الاتجاه ، الزمنى أم لا .

وتعد الآلية الواردة فى الشكل ٣ - ٣ تجسيدا جيدا لهذه الملحوظات . فالصندوق عندما كان مقسوما الى جزئين بالجدار الفاصل ، كان يعد منظومتين منفصلتين ، ولما رفع الجدار أصبح منظومة واحدة . وتمثل حركة رفع الجدار ما أشرنا اليه آنفا من انه التدخل من جانب العالم الخارجى .

ولندرس معا الآن التجربة التالية : هب أن الجدار فى الشكل ٣ - ٣ رفع للمحطات ثم أعيد الى مكانه ، فماذا تكون النتيجة ؟ لا شك اننا سنتوقع بشكل عام أن الخليط سيكون ٥٠٪ من الغاز (أ) و ٥٠٪ من (ب) فى كل من الغرفتين . وإذا أعدنا الآن التجربة من هذا الوضع الجديد ، فماذا نتوقع ؟ يقول المنطق العام بأنه لن يحدث أى تغيير وسيستمر الخليط ٥٠٪ (أ) و ٥٠٪ (ب) فى كلتا الغرفتين .

وتشكل تلك النتيجة تناقضا محيرا لأن التدخل الخارجى فى هذه الحالة يتسم فيما يبدو بأنه متناظر من حيث الزمان - فقد رفع الجدار ثم أعيد مكانه . ولو صورنا التجربة بالفيديو وأعدنا عرض الفيلم بالمعكوس فسنجد الجدار يرفع وينفصل الغازان ثم يعود الجدار . وليس ذلك بالوصف الصحيح للتجربة الثانية حتى لو كان الوضع الاصلى للغاز فى الحالتين متائلا على المستوى المحسوس . فالفيلم يبين أن الانتقال تم من خليط ٥٠٪ و ٥٠٪ الى خليط ٩٠٪ و ١٠٪ بينما الواقع يقول ان التخطيط ٥٠٪ و ٥٠٪ لم يتغير . فلماذا يأتى الفيلم بوصف صحيح للتجربة الاولى بينما يفشل ، اذا عرض بالمعكوس ، فى وصف التجربة المعكسية (التجربة الثانية) ؟ ومن ناحية أخرى لماذا نتوقع أنه لو كانت هناك ألف منظومة مماثلة فسوف يتحول الخليط فيها جميعا من ٩٠٪ و ١٠٪ الى ٥٠٪ و ٥٠٪ ولا نتوقع مثلا أن يتحول الخليط فى بعض منها الى ٩٩٪ و ١٪ ؟ بمعنى آخر لماذا يكون دائما تغير الانتروبيا فى هذه المنظومات متوازيا ؟

وينبغى - كخطوة أولى فى سبيل تفسير هذا التناقض - أن ندرس أوجه الاختلاف على الصعيد الميكروسكوبى بين حالتى الغاز عند بداية التجربة الاولى ونهايتها ، فبعد رفع الجدار مباشرة فى بداية التجربة سوف تنقسم على الأرجح حركة الجزيئات بالفوضى ، وبالتالي ستبدأ نسبة

الخليط ٩٠٪ و ١٠٪ في الاختلال . أما عند نهاية التجربة ، وبعد أن يكون التوازن قد تحقق وصارت نسبة الخليط ٥٠٪ و ٥٠٪ ، فإن الوضع سيكون مختلفا تماما . ولو نظرنا الى الأحداث بشكل معكوس ، أى لو عدنا بالزمان الى الوراء فسنجد أن الجزيئات تتحول الى الفوضى من وضع أكثر انتظاما ، غير أن هذا التحرك العشوائي يجرى في اطار محدد يصل بهذه الجزيئات الى حالة أخرى منظمة هي حالة الخليط ٩٠٪ و ١٠٪ . وعلى النقيض من ذلك ، ليس هناك في التجربة الثانية - التي لم تتغير فيها نسبة الخليط - مثل هذا الاختلاف بين بداية التجربة ونهايتها .

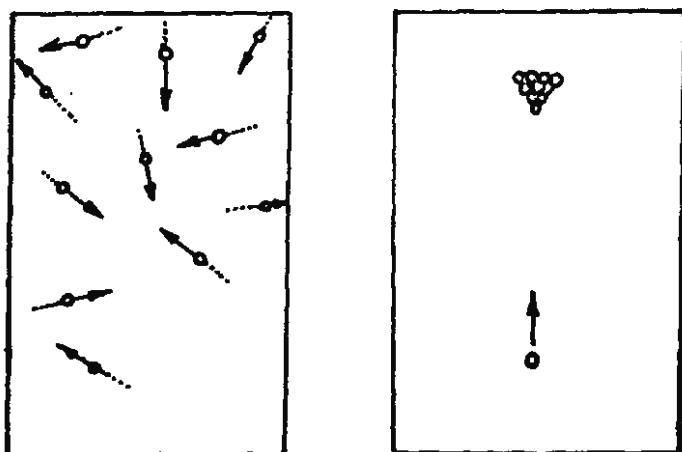
وهذا يعنى أن التناظر الزمني للتدخل الخارجى ان هو الا مجرد وهم ، وينبى لنا أن نعرف كيف تكون هذا الخليط (٩٠٪ و ١٠٪) في بداية الأمر . فلو كان هذا الخليط قد تكون بموجة خلل عارضة لما كان هناك وجه للفراية فى أن تنتهى بخليط ٩٠٪ وأن نبدأ بخليط ٥٠٪ و ٥٠٪ بشرط أن يتم رفع الجدار واعادته عشوائيا . أما لو كان الغاز قد وضع فى الصندوق بهذه الحالة قبل بداية التجربة ، فلا وجود للتناظر الزمني . ولو كانت حالة الغاز فى بداية التجربة حالة عشوائية فلاحتمال كبير أن تتجه الانتروپيا الى التزايد .

وتبرز الآن عدة أسئلة هي : لماذا يسمح العالم الخارجى أصلا بتكون هذا الخليط غير المتوازن (٩٠٪ و ١٠٪) ؟ ولماذا تتكون المنظومات الفرعية فى حالات انتروپيا منخفضة ؟ وعلاوة على ذلك ، لماذا يعد مصدر العشوائية الأصلية التى تتسم بها التحركات الميكروسكوبية فى هذه المنظومات الفرعية ، على هذه الدرجة من الأهمية بالنسبة لما يتصف به مسئلكها بعد ذلك من عدم تناظر فى الزمان ؟ والواقع أن هذه الموضوعات الخلابة المتمثلة فى بحث لماذا يتسم السكون بداية بعدم التوازن فى الديناميكا الحرارية وكيف اكتسبت مكوناته الميكروسكوبية حركتها العشوائية ، هي موضوعات يدور حولها جدل كثير ، وهى تنتمى فى الواقع لعلم الفلك الذى سنتناوله فى البابين الخامس والسادس .

غير أن بعض المسائل لم تكتمل بعد . فلقد تخيلنا أن المنظومات الفرعية التى انفصلت عن الكون الأرحب قد تحولت الى منظومات معزولة ، وهذا وهم . وقد افترضنا - لدواعى التيسير - أن نموذج بولتزمان موجود فى وعاء محكم تماما يجعله معزولا كلية عن العالم الخارجى ، ولا وجود لمثل هذه الأوعية فى العالم الحقيقى . ورغم أن بعض المواد تتسم بقدرة عزل عالية ضد التسرب الحرارى ، فإن ما تحتويه جدران الوعاء من ذرات ستكون دائما متصلة بالعالم الخارجى ، وبالتالي سوف تتغلغل التأثيرات من المحيط الأرحب عبر هذه الحوائط ، وتثبت الخلل فى الجزيئات الموجودة

بالداخل عندما نصلطدم بجدران الوعاء • وحتى لو تفاضينا عن ذلك ، فلا يمكن تلافى تأثير قوى الجاذبية التى تولدها الأجسام المحيطة • علاوة على ذلك ، فلا تتصف معظم المنظومات الفرعية بأنها حتى مقفولة فى صناديق معزولة • ومن ثم ، فإن السؤال الذى ينبغى أن نتعرض له بالدراسة هو الى أى مدى يتفق هذا التفاعل الفرعى المستمر بين المنظومة المعنية وسائر الكون مع ما طرحناه من اعتبارات حول المنظومات الفرعية وعدم التناظر فى الزمان ؟ •

وعلى الصعيد الميكروسكوبى من شأن تأثير هذا الخلل غير المحسوب أن يدمر خاصية العكسية فى المنظومة • وتجسد تلك المسألة فى المثال الوارد فى الشكل (٣ - ٦) والذى يصور منضدة بلياردو ومجموعة من الكرات • وتمثل الكرات ذرات الغاز بينما تمثل المنضدة الوعاء الذى يحويه • ولسهولة التمثيل سوف نتغاضى هنا عن عامل الاحتكاك • وتتخذ الكرات فى البداية هيئة مثلث كما هو مبين فى الشكل (١) باستثناء الكرة التى



ب بعد

أ قبل

شكل ٣ - ٦

الشكل ٣ - ٦ : من النظام الى الفوضى • الانتقال من النظام الى الفوضى مسألة عادية ، ولكن قد نتصور شخصا بارعا بمقدوره ان يعكس اتجاه هذا الانتقال بان يقلب على التو حركة كل الكرات • فى هذه الحالة ستعود الكرات الى الوضع (١) من الوضع (ب) ، فكيف تعرف هذه الكرات طريق عودتها ؟ ولكن لما كانت المنظومة مغلقة ، فان كل المعلومات الخاصة بالوضع (١) ما زالت ماثلة فى مواقع وتحركات كل واحدة من الكرات فى الوضع (ب) • غير انه لو كانت جوانب منضدة البلياردو ضعيفة وتهتز نتيجة اصطدام الكرات بها ، فان خاصية العكسية ستتهار •

يدفعها لاعب البلياردو صوب المثلث . ويتحول الوضع بعد لحظات الى ما نراه فى الشكل (ب) ويتمثل فى فوزى عشوائية حيث تتحرك الكرات وتتصادم وتنتشر فى اتجاهات شتى على منضدة البلياردو . وبعد ذلك فى حد ذاته بيانا آخر للمبدأ العام الخاص بزيادة الانتروبيا . ونلاحظ أن الوضع الاصلى المنظم (ا) قد افسح المجال للوضع الفوضى (ب) . وكالمعتاد ، فان العودة من (ب) الى (ا) تعد عملية بالغة الصعوبة . ومع ذلك ، فقد تتحقق تلك العودة لو كانت هناك وسيلة لقلب حركة الكرات كلها على التو بأن يوضع على سبيل المثال حاجز مرن فى طريق تحرك كل كرة بحيث يعيدها بدقة على المسار ذاته . ولو كانت جوانب منضدة البلياردو صلبة ، فسوف تعود كل الكرات الى مكانها تماما على هيئة المثلث وترجع الكرة المدفوعة أيضا الى وضعها فى الطرف الآخر من المنضدة . ان مثل هذا المسلك يتفق تماما مع خاصية التناظر الزمني التى تنقسم بها قوانين الميكانيكا .

ولنأخذ فى الحسبان الآن تأثير الخلل الخارجى ، وذلك نعتبر أن جوانب منضدة البلياردو ، التى تمثل حوائط وعاء الغاز ، سوف تهتز قليلا وبشكل عشوائى نتيجة ارتطام الكرات بها . ولندرس الآن ما سيحدث عند إعادة التجربة . سوف تتجه الكرة المدفوعة لثرتطم بالمثلث . وبعد لحظات سيبدو الوضع مماثلا للشكل (ب) ولكنه ليس كذلك ، حيث انه فى كل مرة ترتطم فيها احدى الكرات بأحد الجوانب المهتزة للمنضدة ، اما ستكتسب مزيدا من الدفع واما ستفقد بعضا من قوة اندفاعها . واذا لم يكن هناك اختلاف ملموس بين هذا الوضع والشكل (ب) نظرا لحالة الفوضى والعشوائية التى تنقسم بها حركة الكرات ، فان هذا الفارق سيتجلى على الفور لو تحققت الحركة العكسية . فسوف يكون من نتيجة اهتزاز جوانب منضدة البلياردو ألا تعود الكرات على نفس مسارها السابق الا فى آخر مسار قطعته بعد الارتطام بأحد جوانب المنضدة . وعندما مترتطم الكرة بنفس هذا الجانب فى مشوار العودة سوف يتغير اتجاهها قليلا ولكن بقدر كاف ليتغير الاطار الشامل لحركة الكرات كلها . وكم هو ضئيل الاحتمال بأن تعود الكرات فى نهاية رحلة الاياب الى موقعها الاصلى على هيئة مثلث !

وتوصف أحيانا المنظومة الميكانيكية المعزولة تماما ، والنسب من شأنها أن تعود الى حالتها الاصلية عن طريق تسلسل معكوس للحركة ، بتصوير جميل حيث يقال ان المنظومة « تتذكر » حالتها الاصلية . وفى المثال المذكور ، يرتن امكان عودة الكرات الى وضعها الاصلى ، بكافة ما « تحتفظ » هذه الكرات من معلومات ضرورية لبناء تشكيلها السابق

المنظم • وستظل المنظومة تحتفظ بهذه المعلومات ما بقيت معزولة عن العالم الخارجى • ولكن ما أن تتدخل الحركة العشوائية لجوانب المنضدة ، فإن هذه المعلومات ستنتقل الى العالم الأرحب وتتلشى • وللحصول على حركة عكسية سليمة فى الحالة الأخيرة لابد من الأخذ فى الحسبان بتأثير ارتطام الكرات بجوانب المنضدة وتعديل مسار العودة بحيث يتم أيضا عكس كل عوامل الخلل التى تجعل جوانب المنضدة تنذب • ويتسم هذا « فقدان البطىء للذاكرة » فى المنظومات الحقيقية بأنه لا عكوسى وأيضا غير متناظر فى الزمان •

ويطلق على مظاهر الخلل العشوائية من ذلك القبيل اسم « الضوضاء » (noise) • وما من منظومة حقيقية الا وتعرض للضوضاء نتيجة اتصالها بالكون الخارجى • ولم تؤخذ هذه « الضوضاء الكونية » فى الاعتبار عند مناقشة نظرية بولتزمان ولا حتى عند مناقشة المنظومات الفرعية ، حيث لم يتبد أن مسلك هذه المنظومات غير المتناظر فى الزمان مرهون بالاعتبارات المتعلقة باتصالها الضعيف والمستمر بالمحيط الخارجى ، وانما يعتمد هذا المسلك على التدخل المفاجئ الحاد من جانب العالم الخارجى فى عملية التكوين ذاتها •

ويقال أحيانا ان عدم التناظر الزمنى الذى يتبدى عند تطبيق نظرية (H) على المنظومات الفرعية هو مجرد وهم • واذا كنا نقسول ان خليط ال ٥٠٪ ، ٥٠٪ فى الشكل (٣ - ٣) يتسم بدرجة انتظام أقل من الخليط ٩٠٪ و ١٠٪ فانما يرجع ذلك الى عجزنا عن رؤية التحركات الفردية لجزيئات الغاز • وبالتالي فان عدم التناظر الزمنى الناجم عن عملية الخلط ما هو الا نتيجة مستوى الادراك المحسوس (macroscopic view) الذى يحد الانسان • ولذلك يحتفظ بعض الناس على خاصية عدم التناظر ويقولون انها وهمية تماما وتأتى نتيجة القدرة البشرية المحدودة وليست واحدة من ظواهر الطبيعة • وثمة ادعاء يفيد بأن حالة عدم التناظر « الصحيحة » الوحيدة هى تلك الناجمة عن الخلل العشوائى المستمر للضوضاء الكونية ، لأن هذا الخلل يسبب لا عكوسية « حقيقية » على المستوى الذرى •

ولو حدث أن تحول غاز دفعة واحدة من خليط ٩٠٪ ، ١٠٪ الى خليط ٥٠٪ ، ٥٠٪ ، فإن اختبار الحالة النهائية للغاز لن يوحى لنا بأن الغاز كان قبل قليل مختلطا بنسبة ٩٠٪ و ١٠٪ ، وذلك لانه من شأن أية حالة سابقة (بما فيها حالة التوازن) أن تتحول بعد برهة الى خليط ٥٠٪ ، ٥٠٪ على نحو ما رأينا • لقد ضاعت اذن - على المستوى المحسوس - المعلومة المتعلقة بالحالة الأصلية للغاز • أما على المستوى الميكروسكوبى •

فما زالت المعلومة موجودة وكامنة في التحركات الفردية للجزيئات ، شريطة أن تكون المنظومة معزولة تماما بالطبع . ونستنتج من ذلك ، وفقا للمنطق العكسي ، أن أية منظومة معزولة تماما لن تصل مطلقا الى حالة توازن حقيقية وانه ليس هناك عدم تناظر « حقيقي » . ولن يتحقق أى توازن « حقيقي » الا اذا دمرت الضوضاء الكونية كل المعلومات بما فيها المعلومات الميكروسكوبية .

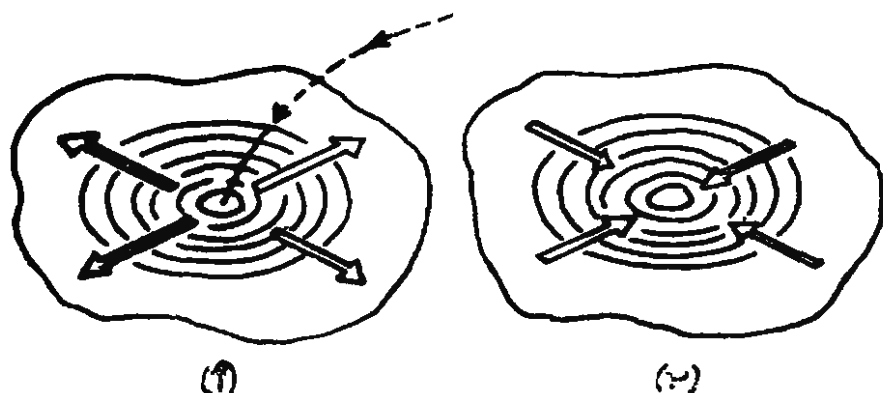
وقد نتساءل - كرد فعل مباشر لوجهة النظر العكسية هذه - هل هناك جدوى حقيقية لمسألة التمييز برمتها بين التوازن « الحقيقي » . « والظاهري » ومسألة عدم التناظر في الزمان ؟ فمن شأن أى غازين غير مخلوطين أن يواصل الانعماج سواء أكانت هناك ضوضاء كونية أم لا ، وكل ما هو مطلوب هو محاولة إيجاد تفسير لهذه الظاهرة ، وهذا التفسير توفره نظرية (H) لبولتزمان بالتكامل مع افتراض بشأن المنظومات الفرعية المكونة عشوائيا . ولا يبدو أن وجود علم تناظر « حقيقي » ، مثل ذلك المنسوب للضوضاء الكونية ، سيكون له تأثير بالغ في علم الفيزياء . ويوفر ما أوردناه آنفا من شرح تفسيريا جيدا لما لدينا من معلومات على المستوى المحسوس عن العالم بما تتضمنه من انطباع قوى بوجود عدم التناظر ، حتى لو كان ذلك مجرد وهم على المستوى الذري (الميكروسكوبي) . وما الاعتراض على ذلك الا مسألة فلسفية بحتة ، ولا يبدو أن له تأثيرا يذكر في علم الفيزياء .

٣ - ٥ علم التناظر الزمني والحركة الموجية

ولقد اقتضت المناقشة في هذا الباب حتى الآن على مفهوم عدم التناظر الزمني في علم الديناميكا الحرارية . غير أن هناك ظواهر مهمة أخرى تتسم بعدم التناظر ، ولا يبدو من وصفها أنها على علاقة مباشرة بالديناميكا الحرارية ، رغم أن شرح معنى عدم التناظر بمزيد من التعقيد قد يرتبط بسمة عدم التناظر في الديناميكا الحرارية .

ويتجسد واحد من الأمثلة المألوفة لظاهرة عدم تناظر زمني بعيدة عن الديناميكا الحرارية ، فيما يحدث عندما يلقي شخص بحجر في بركة ماء . ويتمثل شكل الخلل الناجم عن ذلك في مجموعة من الدوائر المنتشرة للخارج من نقطة سقوط الحجر وحتى جوانب البركة . أما الوضع المعكوس وهو أن تتكون موجات خلل دائرية ذاتية عند جوانب البركة وتتكشف في اتجاه نقطة مشتركة ، فلا يبدو مطلقا أنها عملية قابلة للتحقق ، بشكل لحظي على الأقل .

وتتكرر خاصية عدم تناظر الحركة الموجية هذه في عدد كبير من أفرع الفيزياء ، ومنها على سبيل المثال انتشار موجات الراديو . فمن شأن الموجات اللاسلكية أن تصل دائما بعد إرسالها ، وليس قبل ذلك مطلقا ، فهي تنتشر للخارج من جهاز الإرسال إلى الكون وليس العكس .



الشكل ٣ - ٧ : الحركة الموجية المؤخرة والمقدمة . لو ألقي حجر في بركة ماء مابكة فسوف يولد موجات تنتشر للخارج . وتسمى هذه بالموجات المؤخرة (١) . وهناك في المقابل الموجات المقدمة (ب) ، وهي - وإن كانت شيئا ليس من الوارد مصادفته مطلقا - تحدث عندما تتسافر عوامل الاغفل في أماكن متفرقة بعيدة في البركة وترسل موجات منتظمة تتحرك للداخل صوب المركز .

ويطلق الفيزيائيون على هذا النوع من الحركة الموجية ، الذي تنتشر فيه موجة الخلل من المركز إلى الخارج ، اسم الحركة الموجية « المؤخرة » retarded wave motion لأن موجة الخلل تصل إلى أية نقطة بعيدة بعد فترة تأخير نتيجة انتشارها عبر المكان . أما الوضع المعكوس من حيث الزمان - والذي نمر فيه موجة الخلل بالنقط البعيدة قبل أن تنكشف وتصل إلى المركز - فهو يسمى الحركة الموجية « المقدمة » advanced wavemotion غير أن هناك نقطة غامضة تتمثل في أن قوانين الانتشار الموجي ذاتها لا تميز بين النوعين . فلو طبقنا على سبيل المثال معادلات ماكسويل بخصوص الموجات الكهرومغناطيسية ، فسنجد أنها تغطي حلين سليمين ، أحدهما للموجات المؤخرة والآخر لتلك المقدمة . بيد أنه يمكن استبعاد الحل الخاص بالموجات المقدمة بأن ندعى أن الظروف في الفضاء البعيد لا تلائم عملية تولد موجة خلل تتقدم للداخل . ولكن لم لا ؟ وهذا سؤال لم يحدث مطلقا أن أجمع علماء الفيزياء على إجابة واحدة عليه .

ولكن لعلنا أولا نختار وضعاً يوحى بإمكان إيجاد اجابة واضحة على هذا السؤال . ففي حالة بركة الماء ، نحن بصدد منظومة محدودة الأبعاد . ولو فكرنا بنفسى الطريقة التى تناولنا بها نموذج الغاز لبولتزمان سنقول انه لدينا الآن نموذج لبركة ماء معزولة عن العالم الخارجى وأيضاً معزولة عن تأثيرات الديناميكا الحرارية المتمثلة فى المقاومة الناجمة عن لزوجة الوسط وما الى ذلك من العوامل التى تضيف مزيداً من التعقيد على المسألة . ومن الوارد فى مثل هذه المنظومة النموذجية أن تحدث كل أنماط الحركة الموجية بما فيها الحركة العكسية أو الحركة المقدمة (بعد مرور الوقت الكافى لذلك) . غير أن الخلل السطحى سيتسم فى معظم الوقت بالفوضى وعدم الانتظام – أى انثروبياً عالية – لدرجة أننا قد نفكر فى أن هذه هى حالة التوازن بالنسبة لبركة الماء .

اذن ، فمن شأن بركة الماء المعزولة أن يكون مسلكها متناظراً من حيث الزمان ، تماماً مثل حالة صندوق الغاز المعزول . ولكن يرك الماء الحقيقية ليست معزولة ، ولو ألقينا حجراً من الخارج عليها فسوف تتحول الى منظومة فرعية تماماً مثلما نضع قطعة من الثلج فى كوب به ماء يغلى . ومرة أخرى ، لو ألقيت الحجر بشكل عشوائى فمن شبه المؤكد أنه سيولد حركة موجية مؤخرة لأنه من شبه المستحيل أن ينصادف أن تتخذ أية موجة خلل موجودة فى اطار الحركة العشوائية العامة السائدة فى البركة ، شكلاً موجياً معيناً فى ذات اللحظة التى تلقى فيها الحجر .

غير أن تلك الاعتبارات المتعلقة بالمنظومات الفرعية تنهار عندما يتضخم حجم المنظومة بغير حدود . فلو انفتح صندوق الغاز على فراغ لا نهائى فى حجمه ، فسوف يتبخّر الغاز ولن يعود مطلقاً . وليس من الوارد أن تعود مطلقاً الموجات اللاسلكية لو أرسلت الى فضاء بلا حدود ولم تصطدم « بحافة بركة » . ويمثل هذا التبدد غير المحدود للموجات والجسيمات نوعاً جديداً من عدم التناظر الزمنى اللاعكوسى الذى يحتاج تفسيراً جديداً . وببعضى أن مثل هذا التفسير لا يمكن أن يقوم على اعتبارات « محلية » . والسؤال المطروح هنا هو لماذا لا تتيح الظروف السائدة فى الأماكن البعيدة فى الكون تولد موجات لاسلكية أو سحب ذرات ضامة converging . وقد يبدو احتمال وقوع مثل هذا الحدث الغريب – كان نجد موجة راديو تنتشر « للخلف » من حافة الكون – أمراً يثير ضحك القارىء أو سخريته وبالتالي تبدو محاولة تفسير عدم وقوعه مسألة عبثية سخيفة . ولكننا سنرى أن العوامل المقيدة التى تحكم مثل هذه الأحداث الغريبة قد تشكل قيوداً صارمة على نوع الكون الذى نعيش فيه . علاوة

على ذلك فمن شأن بعض نماذج الأكوان ، التي تحمل أوجه تشابه مع كوننا ، أن تسمح من وقت لآخر بوقوع مثل هذه الأحداث الغريبة .

ولقد أسفرت الدراسات المتعلقة بأصل مسألة تكون المنظومات الفرعية وبما تتسم به الحركة الموجية اللانهائية من عدم تناظر لا عكوسى ، عن التوصل الى بعض الاعتبارات بشأن الخصائص العليا للكون . وقبل أن نورد التفسيرات المنطقية لهذه المسائل (فى الباب السادس) ، ينبغى أن نصف أولا ما توصلنا اليه حاليا من معلومات عن نشأة الكون وبنيته وتطوره . ولكن يتعين أن نفهم فى البداية طبيعة الجاذبية .

الباب الرابع

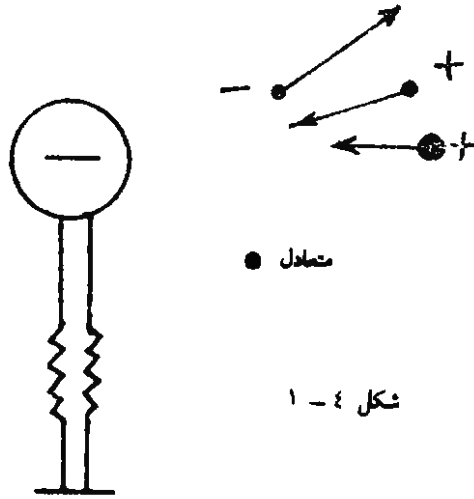
المأذبية واعوجاج نموذج المكان - الزمان

وتشكل نسبية الحركة المنتظمة حجر الأساس لكل من نظرية نيوتن للميكانيكا ونظرية اينشتين للنسبية الخاصة ، وهي ترتفن بصورة جوهرية بوجود أطر مرجعية راسية (inertial frames of reference) . وتفيد هاتان النظريتان بأن كل المنظومات المتحركة بسرعة منتظمة تمد متكافئة من حيث الميكانيكا . ووفقا لقانون نيوتن الثاني (وأيضا نظرية اينشتين العامة المستمدة منه) لا يمكن إلغاء المعجلة وبالتالي لا يمكن تحقيق الحالة الخاصة المتمثلة في الحركة المنتظمة ، الا بالتخلص من تأثير كل القوى التي تتعرض لها المنظومة المتحركة . ومن ثم يتوقف وجود الاطار المرجعي الراسي على القدرة على امكن تحقيق حالة حركة متحركة من أية قوة ، من حيث المبدأ على الأقل .

ويشتمل علم الفيزياء الحديث على أربعة أنواع من القوى الطبيعية : ويؤثر أقوى واحد من هذه الأنواع - وهو يحمل اسم « التفاعل القوى » (the strong interaction) - فيما بين جسيمات النواة الذرية بحيث يجعلها ملتصقة ببعضها ، وذلك يعني أن مجال تأثيره قصير للغاية ويقارب ١٠-١٢ سم . ويعمل النوع الثاني - وهو أضعف من الأول ويسمى « التفاعل الضعيف » (the weak interaction) - على نطاق قصير للغاية فيما بين جسيمات دون ذرية كذلك وله تأثيرات عديدة منها اشعة بيتا . وليس لأى من هذين النوعين من القوى أى تأثير على حركة الأجسام المحسوسة Macroscopic ، وعلى أية حال لم يكن أى منهما معروفا عندما اكتشف اينشتين النسبية الخاصة .

أما النوعان الآخران من القوى ، وهما الكهرومغناطيسية (Electromagnetism) والجاذبية (gravity) فهما يؤثران على الأجسام الكبيرة . ولا يمكن أن تتحقق الحركة المنتظمة في ظل وجود هاتين القوتين . ولندرس كيف يمكن في الواقع تحديد ما اذا كانت منظومة ما تتعرض لمثل هذه القوى أم لا . فلو مرت جسيمات تحمل شحنات كهربية في مجال كهربى ، فسوف تتعاجل بمعدل يتناسب عكسيا مع كتلتها . ويمكن الاستدلال على وجود مثل ذلك المجال الكهربى بدراسة مسلك أنواع مختلفة من

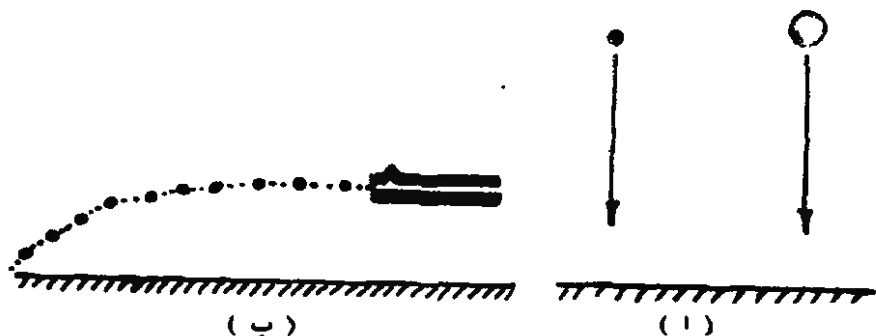
الجسيمات ، فمن شأن الجسيمات التي تحمل شحنات موجبة أن تتعاجل في المجال الكهربى وتحت تأثيره ، فى عكس اتجاه تلك التي تحمل شحنات سالبة . أما الجسيمات المتعادلة كهربيا (مثل الفترات العادية التي تشتمل على عدد متساو من الشحنات الموجبة والسالبة) فهي لا تتعاجل على الإطلاق . وعلاوة على ذلك ، فمن شأن الأجسام الأكبر كتلة والتي تحمل نفس الشحنة الكهربائية أن تتعاجل بمعدل أبطأ بسبب الزيادة فى قصورها الذاتى . ونستنتج من ذلك أنه يمكن تحرير منظومة ما من تأثير القوى الكهربائية عن طريق معادلتها كهربيا أو زيادة كتلتها بدرجة كبيرة ، أو بعبارة أخرى عن طريق تقليص نسبة الشحنة الكهربائية/الكتلة الى قيمة ضئيلة يمكن إهمالها . ويمكن أن نختبر بشكل مباشر طبيعة مثل هذه المنظومات من حيث مدى تحررها من القوى الكهربائية عن طريق إجراء التجارب المذكورة آنفا على جسيمات اختبار متعادلة وأخرى تحمل شحنات كهربية متباينة .



الشكل ٤ - ١ : الحركة تحت تأثير القوى الكهربائية . من شأن الجسيمات المختلفة أن تتحرك بشكل متباين فى المجال الكهربى . تجذب الكرة التي تحمل شحنة سالبة الشحنتين الموجبتين المتساويتين ، بقوة واحدة . ولكن الشحنة الأخف وزنا تتعاجل بمعدل أسرع من الأخرى بسبب قلة قصورها الذاتى . ويمكن للنسبة بين الشحنة والقصور الذاتى أن تتغير بشكل كبير ، بل قد تأخذ قيمة سالبة (بحيث تنفر الجسيم) أو تساوى صفرا (بالنسبة للجسيمات المتعادلة) . ويمكن دائما الاستدلال على وجود مجال كهربى فى موقع ما فى الفضاء ، بغض النظر عن حالة حركة المراقب ، عن طريق إطلاق شحنات اختبار متنوعة .

غير أن مثل هذه الاستراتيجية لا تصلح بالمرّة في حالة الجاذبية .
فلو أجرينا تجربة مماثلة على حركة جسيمات اختبار تحت تأثير الجاذبية
فسنكتشف أن كل الجزيئات تسقط لأسفل . ولا يوجد شيء معروف يمكن
أن يسقط « لأعلى » أو يرتد من سطح الأرض نتيجة الجاذبية . وتتميز
الجاذبية بأنها تبعث دائما على تجاذب الأجسام ولا تؤدي مطلقا الى
تنافرها . وبعبارة أخرى تنسم دائما شحنة الجاذبية بأن لها اشارة واحدة
على عكس الشحنة الكهربائية التي يمكن أن تكون موجبة أو سالبة . وليس
هناك ما يسمى بالجاذبية المضادة بمعناها المباشر الا في الخيال العلمي .
ورغم ذلك يمكن أن نستدل على وجود قوى جاذبية تؤثر على منظومة
ما لو تحركت اجسام مختلفة بعجلة متباينة تحت تأثير الجاذبية . ويمكن
أن نتحقق حالة الحركة الحرة لو امكن أن تتقلص نسبة شحنة الجاذبية
آلى كتلة الجسم .

ويمكن بسهولة تحديد المعدل الذي تسقط به الأجسام المختلفة ،
فما علينا الا أن ندعها تسقط تحت تأثير الجاذبية الأرضية . ويتردد أن
جاليليو أجرى هذه التجربة من برج بيزا المائل . وعلى أية حال ، فلقد
كان هو أول شخص يكتشف هذه الظاهرة التي تتوازي في أهميتها مع
النتيجة التي توصل اليها مايكلسون ومورلي ومفادها أن كل الاجسام تسقط
بعجلة واحدة . ويرى معظم الناس أن هذه النتيجة تتعارض مع الاحساس
الفطري ، حيث يبدو دائما أن الأجسام الثقيلة ينبغي أن تسقط بمعدل
أسرع من الأجسام الخفيفة . ولكن الأجسام الثقيلة تنسم بأنها أكبر كتلة
وبالتالى فهي أصعب في تحريكها . وقد اكتشف جاليليو أن الخاصيتين
- تقل الجسم وقصوره الذاتي - تتكافآن تماما ، فالجاذبية الأرضية تجذب
الصخرة بقوة أشد من تلك التي تجذب بها حصاة ولكن رد فعل الحصاة
يأتى أسرع من رد فعل الصخرة ، والنتيجة ، التي يمكن أن يلمسها القارىء
بسهولة ، هي أن الصخرة والحصاة تصلان الى الأرض معا ، لو اسقطنا
بالطبع معا (شكل ٤ - ٢) . وقد يبدو أن الريشة أو البالونة تناقض
مبدأ جاليليو ، غير أن ذلك يرجع الى عامل المقاومة الهوائية ولا علاقة له
بطبيعة الجاذبية . ولقد كان ذلك هو الانجاز الذي حققه جاليليو ، وهو
أن يعزل الخاصية العامة المهمة للجاذبية عن عامل المقاومة الهوائية الذي
لا يمت لها بصلة رغم أنه ذو تأثير لا يستهان به .



الشكل ٤ - ٢ : الحركة تحت تأثير قوى الجاذبية . من شأن الأجسام المختلفة ، مهما كانت متباينة ، أن تهوى بنفس الطريقة تحت تأثير الجاذبية فلو اسقطنا جسمين أحدهما خفيف والآخر ثقيل من ارتفاع واحد ، فسيصلان إلى الأرض معا (الشكل ١) . وفي الشكل (ب) نجد دالات خفيفة وأخرى ثقيلة تنطلق من مدفع واحد بسرعة واحدة ، ويتماثل مسار الدالات الثقيلة (النقاط الكبيرة) مع مسار الدالات الخفيفة (النقاط الصغيرة) . غير أن هذه النتائج تعد تقريبية نظرا للمقاومة الهوائية .

ولا يمكن الاستدلال على وجود الجاذبية في موقع ما في الفضاء عن طريق إسقاط جسيمات اختيار متنوعة ، ويدل على ذلك أن المسارات المعطية في الشكل (ب) قد تلجم عن تأثير الجاذبية أو قد تنجم عن تحرك المراقب لأعلى بعجلة تساوى قيمة الجاذبية .

وقد روجعت نتائج جاليليو بمد ذلك بواسطة رولاند فون إيتفوس Roland von Eötvös (مجرى ، ١٨٤٨ - ١٩١٩) في عام ١٨٨٩ ثم بواسطة روبرت ديك Robert Dicke في عام ١٩٦٤ ووصلت درجة الدقة في المراجعة إلى جزء من مليون مليون جزء . ولعل أفضل طريقة للتعبير عن مضمون هذه النتائج هي أن نقول بأن النسبة بين شحنة الجاذبية والكتلة نسبة ثابتة لا ترتبهن بطبيعة الجسم الساقط ، وهذا يعني أن شحنة الجاذبية والكتلة تعدان بالفعل خاصيتين طبيعيتين متكافئتين للجسم . ولهذا السبب كثيرا ما يطلق على مبدأ جاليليو اسم « مبدأ التكافؤ » أو (The principal of equivalence) . ويقضى مبدأ التكافؤ في صيغته العامة بأنه من شأن كل جسيمات الاختبار (*) أن تتحرك على مسار واحد تحت تأثير الجاذبية . وبالتالي ليست هناك وسيلة للاستدلال على وجود الجاذبية

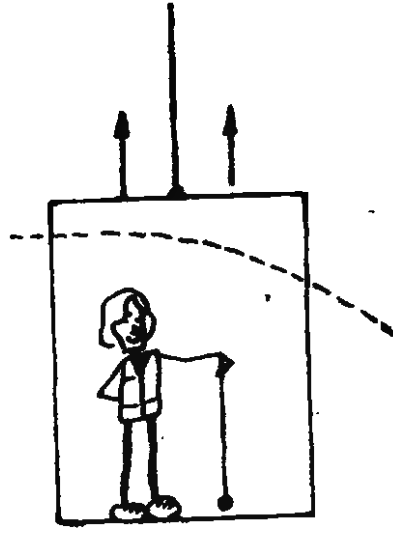
(*) يقصد بجسيمات الاختيار في هذا السياق الجسيمات التي تتسم بدرجة من الضلالة بحيث يمكن أعمال تأثير جاذبيتها الخاصة على الحركة .

عن طريق دراسة المسلك الخاص لأنواع مختلفة من جسيمات الاختبار على غرار ما يحدث في المجالات الكهربائية . وليس هناك شيء يمكن أن يقال انه متعادل أو غير قابل للتأثر بالجاذبية بحيث يمكن اعتباره مرجعا تقارن به المنظومات لتحديد ما اذا كانت واقعة تحت تأثير أية قوة جاذبية أم لا .

وقد يتناسب مع المنطق البسيط أن نعبر عن مبدأ التكافؤ بقولنا ان شحنة الجاذبية تعادل من حيث الكم قوة الجاذبية بينما يعادل الثقل قوى القصور الذاتي الناجمة عن الحركة المتعجلة . وتتوازى المطابقة بين هاتين الكميتين مع القول بأن هناك تكافؤا طبيعيا بين قوة الجاذبية وقوة القصور الذاتي . ويمكن الاستدلال على مثل هذا التكافؤ بالتجربة الصلية . فمن شأن قوة الطرد المركزي في حالة دوامة الخيل أن تولد نفس الشعور الناجم عن قوة الجاذبية (بخلاف أنها تؤثر بشكل أفقي) . ولذلك جرت العادة على أن يطلق الفنيون العاملون في مجال الفضاء على قوى الطرد المركزي اسم « الجاذبية الاصطناعية » ، artificial gravity ، لأنهم يستخدمون محطات الفضاء الدوارة في توليد جاذبية تعادل في قوتها الجاذبية الأرضية ، وذلك بهدف تهيئة المناخ لرواد الفضاء في هذه المحطات للعمل في ظروف طبيعية . وتعد فكرة الطرد المركزي وسيلة لتوليد قوة جاذبية بالغة تعادل بضعة أمثال قوى الجاذبية الأرضية .

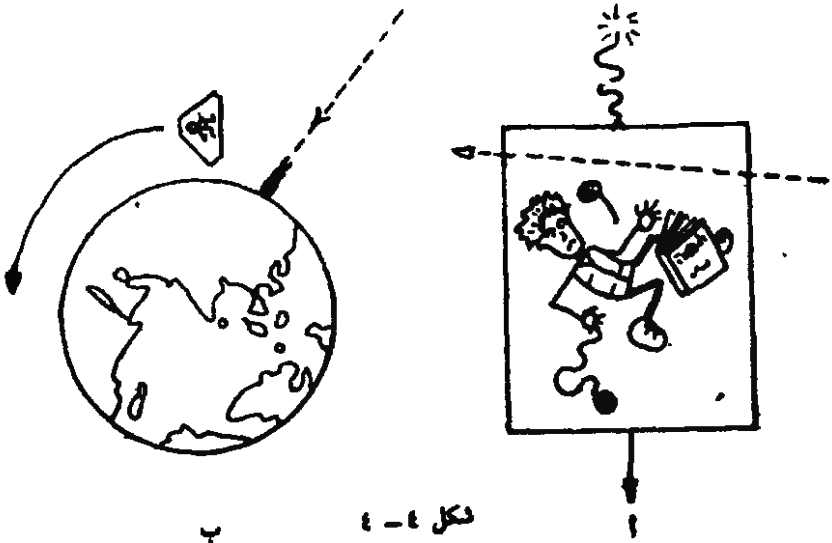
ولكن ، وعلى النقيض من ذلك ، لا يمكن التمييز محليا بين جاذبية الأرض وتأثير حركة متعجلة مكافئة لها . فلن يكون بوسع شخص موجود داخل صندوق مفلق غير شفاف ، أن يميز بين ما اذا كان ساكنا على سطح الأرض أم متحركا لأعلى بصجلة تساوى عجلة الجاذبية (ج) في الفضاء الخارجي حيث لا يوجد تأثير يذكر للجاذبية الأرضية .

ومثلما أنه يمكن استخدام العجلة لمحاكاة قوى الجاذبية يمكن أيضا أن تتلاشى الجاذبية بسبب العجلة ، وهذا على وجه التحديد هو الوضع الذي يشعر به المرء في منظومة ما في حالة سقوط حر free fall . فلو سقط على سبيل المثال الصندوق المحكم المذكور آنفا ، من على قمة جبل ، فلن يشعر الشخص المتصن الجالس داخله بالجاذبية مادام الصندوق قد سقط بكل محتوياته ، حيث انه هو ، وكل شيء من حوله في الصندوق ، سيسقطون بنفس المعدل مثل الصندوق ، وذلك وفقا لمبدأ التكافؤ . وسيشعر الشخص الموجود داخل الصندوق أنه في مكان خال من الجاذبية وكل شيء يسبح من حوله بلا معاملة بالنسبة للصندوق ، أي في حالة انعدام وزن . وبالتالي فلا مجال لأن يشعر ساكن الصندوق بوجود الأرض أو جاذبيتها مادام الصندوق في حالة سقوط حر ، ولكنه سيعرف بالطبع كل شيء عن وجود هذه الأرض عندما يرتطم الصندوق بسفح الجبل ويتعرض لأنواع من القوى ليست ناجمة عن الجاذبية .



الشكل ٤ - ٣ : مبدأ التكافؤ . لو أن هناك صندوقاً متحركاً لأعلى
بمعدلة تساوى (ج) بعيداً في الفضاء الخارجي حيث يمكن إهمال تأثير
الجاذبية الأرضية ، فسوف يشعر الشخص الموجود داخل الصندوق بوزنه
الطبيعي ، وبالتالي لن يخطر على باله شيء سوى أنه يقف على سطح الأرض .
وهناك مشاهدات محلية أخرى تؤدي إلى نفس الانطباع . فمن شأن المراقب
(وهو الأداة المستخدمة لاختبار الاستقامة الرأسية للمبنى) أن تلقى
قطعة الرصاص فيه لأسفل صوب الأرض . ولو أطلقت قديفة وسارت في
خط مستقيم بسرعة منتظمة فسوف تخترق الصندوق في مسار منحني لأسفل .
وهذا يعني بجميع المقاييس أن قوى القصور الذاتي الناتجة عن الحركة
المعجلة تتكافأ مع قوة الجاذبية . غير أن المشاهدات على نطاق أوسع
تكشف عن وجود وجه للاختلاف بين القوتين . فالجاذبية تنجم عن وجود
جسم قريب (مثل الأرض) ، أما قوى القصور الذاتي فليست بحاجة
لذلك .

لاحظ أن الخط المنقطع يمكن أيضاً أن يمثل مسار شعاع ضوئي .
وهذا يعني أن الجاذبية تؤثر أيضاً على مسار الضوء .



الشكل ٤ - ٤ : السقوط الحر للأطر المرجعية . من نتائج مبدأ التكافؤ ان التأثير المحلي للجاذبية ينعدم في حالة السقوط الحر .
 في الشكل (١) تسقط كل محتويات الصندوق بسرعة واحدة وبالتالي تظهر لساكن الصندوق كأنها مطبوعة الوزن . أما الأجسام المتحركة ، مثل القذيفة تخلق الصندوق ، فيبدو أنها تسير في خط مستقيم . ويعتبر أيضا رجل الفضاء في الشكل (ب) أنه في حالة سقوط حر ولذلك فإنه يبدو في حالة انعدام للوزن . ومن شأن العجلة التي يتحرك بها في مساره للتعني ان يتلاقى محليا بتأثير الجاذبية الأرضية ولا يعنى ذلك ان العجلة غير موجودة . ويشهد بذلك النيزك الساقط على الأرض في الشكل (ب) .

وكان مثل هذا الوضع الوارد في المثال المذكور آنفا غريبا على الناس ابان أن تحدث اينشتين لأول مرة عنه ، أما اليوم فلقد اعتدنا أن نرى مشاهد لصور مختلفة لانعدام الوزن داخل المركبات الفضائية . فعندما تتوقف محركات الدفع في الصواريخ حاملة مركبات الفضاء فان المركبة تتحول الى حالة سقوط حر ومن ثم لا يشعر ركبائها من رواد الفضاء بالجاذبية . ولا يعنى ذلك أن الجاذبية قد تلاشت ، بل ان تأثيرها يمتد لأبعد من القمر (وأى شيء غيرها يبقى القمر في مداره حول الأرض ؟) ولكن ليس من شأن المنظومة في حالة السقوط الحر أن تستشعرها . والواقع أن الجاذبية لو قيسست على ارتفاع ٢٠٠ كم فوق سطح الأرض ، فلن تقل الا بمقدار ٦٪ عن قيمتها على السطح ، ولكنها تنعدم داخل كبسولة الفضاء بسبب الحركة المعجلة التي تندفع بها المركبة في سقوطها الحر متخذة هذا المسار المنحني . ويمكن القول ببساطة ان الجاذبية الاصطناعية الناجمة عن الحركة « الدوامية » للكبسولة حول الأرض تعادل تماما مع

الجاذبية الأرضية ما يؤدي الى انعدام الوزن هذا والذي يعد من السات
البارزة لرحلات الفضاء .

ولا ينبغي أن يبحث التكافؤ بين تأثير كل من الجاذبية والعجلة
(عجلة الثقل) على الاعتقاد بأن الجاذبية هي نوع من الوهم يرتنن بالاطار
المرجعي المعنى فى كل حالة ، لأن مبدأ التكافؤ هذا لا ينطبق الا بشكل
« محلى » فقط ، وهذا يفسر تقيدها فى المثال بصندوق معلق . ومن شأن
الظواهر الجاذبية على مسافات بعيدة أن تبث على استشعار وجود
الجاذبية . فمن سمات الجاذبية أنها تتباين من مكان لمكان . ويمكن
اعتبار الجاذبية بمثابة « مجال » ، مثل المجال الكهرومغناطيسى ، ولكنه
مجال غير منتظم حيث انه يتغير فى شدته واتجاهه ، ولا يمكن اعتباره
منتظما (بدرجات مختلفة) الا فى منطقة محدودة فقط من الفضاء . ويدل
على ذلك أن قيمة الجاذبية تقل كلما ابتعدنا عن سطح الأرض بمسافات
كبيرة ، ولذلك فإن كبسولة الفضاء التى تدور حول الأرض على ارتفاع
٢٠٠ كم تتم الدورة فى نحو ساعة ونصف الساعة تقريبا بينما يقطع القمر
فى سقوطه الحر حول الأرض ، وتحت تأثير الجاذبية الضعيفة على ارتفاع
٤٠٠ ألف كم ، دورته فى ٢٨ يوما . هناك اذن عجلة نسبية كبيرة بين
الكبسولة والقمر ، حتى رغم ما يبدو من انعدام الوزن داخل هذا الفراغ
الصغير فى الكبسولة . وهذا يعنى أنه لو سنحت الفرصة لأن يتابع رائد
الفضاء حركة القمر بالنسبة لكبسولته فسوف يستنتج وجود الجاذبية
الأرضية (حتى لو لم يكن بوسعه أن يرى الأرض) . اذن ، فالمشاهدات
التي تجرى على مسافات بعيدة فى مجال جاذبية ما ، تتم عن وجود هذا
المجال . ويطلق على التغير الذى يطرأ على المجال من مكان لمكان اسم
« التأثير المدى » . وتعزى على وجه التحديد ظاهرة المد والجزر فى المحيطات
الى ما يطرأ من تغير طفيف على جاذبية القمر عبر الأرض . ولو كانت قوة
جاذبية القمر منتظمة ولا تتغير بالمكان لما كان لها تأثير على المحيطات .

واذا كنا قد أهملنا التأثير المدى فى مثال الصندوق ، فلأن حجم
الصندوق لا يذكر قياسا بالأرض . ومع ذلك لا تتخذ محتويات الصندوق
كلها أثناء السقوط مسارات متوازية ، حيث انها تتجه كلها فى الواقع
صوب مركز الأرض . ولو وقع الصندوق فى ثقب فى الأرض يصل الى
مركزها لوجدنا كل المحتويات تتجمع فى نهاية المطاف عند نقطة المركز .
ومن ثم ، فلو كان الشخص الموجود داخل الصندوق قوى الملاحظة فسيستنتج
وجود الجاذبية بسبب ترحل الحطام من حوله (أن بقى هو سليما) ،
لمسافة ضئيلة للغاية صوب مركز الصندوق . ولا شك أن التأثير سيكون
ضئيلا للغاية ، حيث لو سقط الصندوق من ارتفاع ١٠٠ متر، فبن يكون من

شان جسمين يبعدان عن بعضهما بمسافة ثلاثة أمتار الا أن يقتربا بمقدار لا يتجاوز بضعة أجزاء من ألف من السنتيمتر .

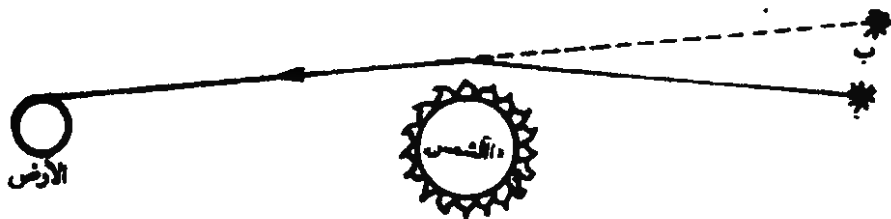
خلاصة القول انه اذا كان المجال الكهربى يمكن اكتشافه باستخدام شحنات الاختبار عند نقطة ، فإن التغير فى مجال الجاذبية من مكان لكان هو الشيء الوحيد الذى يمكن أن تكون له دلالة ملموسة على وجود ذلك المجال .

ولو عدنا الى موضوع الأطر المرجعية فسنجد أن نيوتن كان يعلم بمسألة تكافؤ شحنة الجاذبية والثقل ، ولذلك افترض أنه لو كانت هناك منطقة بعيدة عن كل مصادر الجاذبية والكهرومغناطيسية وأنواع القوى الأخرى فإنها ستقرب فى مواصفاتها من المنظومة المنتظمة فى حركتها والمتحررة من القوى . ومن ثم يمكن أن تقام ، على الأقل من حيث المبدأ ، الأطر المرجعية فى أى مكان فى الكون قياسا بهذه المنظومة البعيدة . ومع ذلك فما زال مفهوم الاطار المرجعى يحل معنى حقيقيا حيث انه يمكن أن يمتد من المنطقة الخالية من القوى ، عبر الكون كله لو كانت هناك حاجة لذلك . (ولا يعنى بالطبع تعبير « إقامة » اطار مرجعى منين أننا نشيد هيكلًا صلبًا من الأعمدة المعدنية وما شابه . ولكنه مجرد اصطلاح رياضى يفيد تحديد نظام احداثيات مرتبط بحالة معينة من الحركة) . ومن ثم ، لو أن هناك جسمًا بعيدًا يتحرك بشكل منتظم فى منطقة فى الفضاء خالية من القوى ، فإن مجرد مراقبة تحركه من الأرض ستكون كافية لتحديد معدل المعالجة الذى تتحرك به منظومة ما على سطح الأرض والناجم عن كافة أنواع القوى التى تتعرض لها هذه المنظومة بما فيها الجاذبية .

ولم يكن المنطق الذى فكر به نيوتن مقبولا لدى اينشتين لانه ، بخلاف أن الجاذبية موجودة فى كل مكان فى اطار المجال العام للكون ، أدرك انطلاقًا من نظريته للنسبية الخاصة ، أنه لا يمكن عقد مقارنة ، ولا حتى من حيث المبدأ ، بين حالة حركة محلية (الاطار المرجعى) ومنظومة تقع على بعد كبير على نحو ما افترضه نيوتن . ويعزى ذلك الى التكافؤ بين الكتلة والطاقة ، $E=mc^2$ ، والذى يقتضى أن تكون للضوء كتلة ، وبالتالي سوف يتأثر بفعل الجاذبية تماما مثل سائر الجسيمات المادية . وكان اعوجاج مسار الضوء نتيجة لمجال الجاذبية واحدا من الاستنتاجات الرئيسية لنظرية اينشتين ، وقد أثبتته عمليا سير آرثر ادينجتون Arthur Eddington (بريطانى ، ١٨٨٢ - ١٩٤٤) خلال خسوف للشمس وقع فى عام ١٩١٩ حيث تم قياس مدى انحناء مسار الضوء واتضح أن نتيجة القياس تتفق مع القيمة النظرية التى حسبها اينشتين (انظر الشكل ٤ - ٥) . ولقد أدى تلقائيا اكتشاف تأثير مسار الضوء بالجاذبية ،

الى تفويض فكرة استخدام الاشارات الضوئية لمراقبة حركة منظومة تقع على بعد كبير من منطقة لها مجال جاذبية ، لأن مسار هذه الاشارات لن يكون مستقيما .

ونتيجة لتلك المناقشات أدرك اينشتين أن بنية المكان والزمان - التي كانت تخضع في ذلك الحين لمبادئ نظرية النسبية الخاصة ، وكانت لانزال نظرية جديدة - لا يمكن ان تنفصل عن الاعتبارات المتعلقة بالجاذبية ، فمكف على العمل محاولا وضع نظرية جديدة للجاذبية لتحل محل نظرية نيوتن التي استمرت سارية بنجاح كبير على مدى قرنين من الزمان .



شكل

الشكل ٤ - ٥ : الجاذبية تؤدي الى انحناء مسار الضوء . من شأن جاذبية الشمس ان تؤدي الى انحناء مسار الشعاع الضوئي الوارد من النجم البعيد (١) بحيث يبدو على الأرض وكأنه موجود في الموقع (ب) ويمكن ملاحظة هذا الانحراف وقياسه في حالات خسوف الشمس عليهما يجب القمر قرص الشمس بما يصبح المجال لأن تظهر النجوم في ضوء النهار .

٤ - ٢ النظرية العامة للنسبية واعوجاج نموذج المكان - الزمان بسبب الجاذبية :

وعندما اكتشف اينشتين مبادئ النسبية الخاصة ، كانت القوتان المستمدتان من الطبيعة ، وهما الكهرومغناطيسية والجاذبية ، تتسمان بوضع مختلف تماما فيما بينهما في هذه النظرية . فقد كانت الكهرومغناطيسية في واقع الأمر هي الباعث الأول للنسبية الخاصة . وقد شكلت النظرية محاولة للمواءمة بين مسلك الموجات الكهرومغناطيسية ، مثل الضوء ، والخصائص الميكانيكية للأجسام المتحركة . ومن ثم كانت نظرية ماكسويل للكهرومغناطيسية متفقة بشكل تلقائي مع مبادئ النسبية الخاصة . غير أن الأمر يختلف بالنسبة لنظرية نيوتن للجاذبية ، التي تقوم على امكان أن يكون لقوة ما تأثير فوري عن بعد . وهو مفهوم فقد مضمونه بمجرد اكتشاف نسبية التزامن وانضاح الطبيعة المحدودة لسرعة

الضوء . فكيف يتسنى أن يؤثر تغير في جسم ما على جسم آخر بعيد في اللحظة ذاتها بينما تصد كافة التأثيرات الطبيعية مقيدة بسرعة انتقال لا تتجاوز سرعة الضوء ؟ وما هو الاطار المرجعى الذى تنسب اليه هذه اللحظة ذاتها ، ؟

وقد استدل اينشتين في سعيه من أجل وضع نظرية جديدة للجاذبية تتماشى مع مبادئ النسبية ، بعدة اعتبارات ، أولها أن مصدر المجال الكهرومغناطيسى وفقا لنظرية ماكسويل الناجحة ، هو الشحنة الكهربائية ، وهذه الشحنة لا تختلف مهما تغير الاطار المرجعى الذى تقاس منه . وعلى النقيض من ذلك نجد أن كتلة الجسم ، وهى مصدر الجاذبية ، تختلف باختلاف الاطار السندى - فلقد رأينا أننا أن الجسيم يزداد وزنا كلما اقتربت سرعة تحركه من سرعة الضوء . ومن ثم كان نوع المجال الذى يسمى اينشتين الى اكتشافه أكثر تعقيدا من مجال ماكسويل ، فاذا كان من شأن المجال الكهرومغناطيسى أن يولد قوى فى اتجاهات مختلفة فان مجال الجاذبية ينطوى حتى على عدد أكبر من المكونات . (وكان نيوتن يختصر هذه المكونات الى قوة واحدة تأخذ دائما اتجاه الخط الواصل بين مركزى ثقل الجسمين) . وتقوم العلاقة بين هذه المكونات الكثيرة للجاذبية على أساس بعض المبادئ الرياضية التى تخرج عن اطار هذا الكتاب .

وقد عمل اينشتين أيضا على أن يلمح فى نظريته هذا المبدأ الجوهرى المتمثل فى التكافؤ ، ولكن باعتباره مبدأ أساسيا وليس مجرد تصادف طبيعى على نحو ما كان ينظر اليه نيوتن . وقد فرغ اينشتين من عمله هذا فى عام ١٩١٥ ، وفى العام ذاته نشر نظريته الجديدة للجاذبية - وهى النظرية العامة للنسبية - فى صورتها النهائية . وقد يساعد على فهم النظرية العامة أن نعود الى فكرة الرسم البيانى بين المكان والزمان . وفى حالة النسبية الخاصة ، كان الانتباه مركزا على الحركة المنتظمة التى تترجم على هيئة خطوط مستقيمة فى الرسم البيانى . غير أن هذه الخطوط المستقيمة تشكل فئة مميزة فى عالم الخطوط حيث انها تجسد حالة خاصة من الحركة فى هذه النظرية .

ولا يمكن فى ظل وجود الجاذبية ، بناء أى اطار مرجعى . ومن شأن خطوط المسار أن تنحني تحت تأثير قوى الجاذبية (الشكل ٤ - ٦) . ومع ذلك ، الو أهم لنا فى هذا المقام كل أنواع القوى الطبيعية بخلاف تلك المتعلقة بالجاذبية ، يمكن ايجاد اطار مرجعى يكفل محليا أن تستقيم خطوط المسار - ويتحقق هذا الشرط اذا كان الاطار فى حالة سقوط حر . وكما رأينا ، تتسم أية منظومة فى حالة سقوط حر بأن الجسيمات القريبة



شكل ٤ - ٦

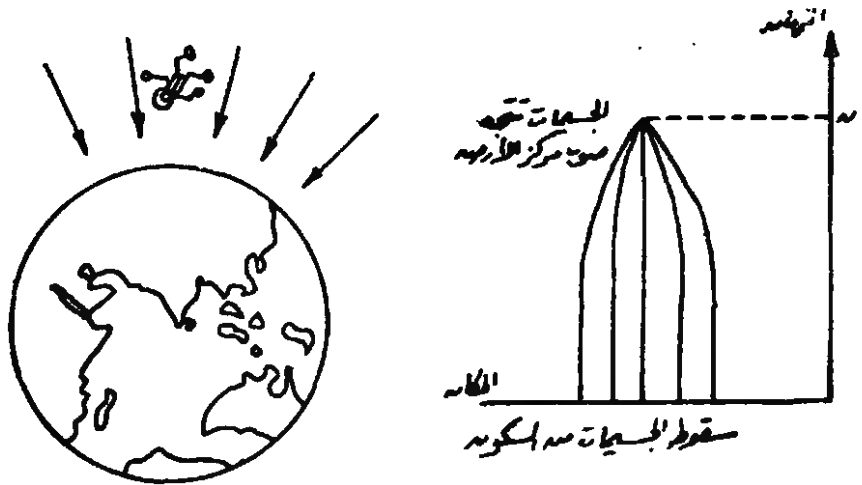
الشكل ٤ - ٦ : يوضح الشكل (٦) رسماً بيانياً رسمة مراقب واقف على الأرض لجسم في حالة سقوط • ويبين الشكل (ب) الرسم ذاته وقد رسمة مراقب في حالة سقوط • ونلاحظ هنا ، ووفقاً لمبدأ التكافؤ ، أن الجاذبية قد تلاشت محلياً نتيجة المعالجة التي يلزم بها السقوط الحر ، مما يجعل مسار الجسم الساقط - الموازي لمسار المراقب - يبدو مستقيماً .

منها تبدو عديمة الوزن بحيث يشكل الرسم البياني للمنطقة الداخلية في الصندوق الصغير الساقط ، تجسيدا تقريبياً جيداً لحالة النسبية الخاصة ، تقترب فيه الحركة من درجة التماثل مع الحركة المنتظمة • ويمكن القول إذن أن الأطر في السقوط الحر يمكن أن تحل محل الأطر المرجعية في النسبية الخاصة كالفئة المميزة من الحركة • غير أن مثل هذه الأطر لا يمكن بناؤها إلا محلياً ، فلو رسمنا خريطة مكان - زمان تمثل منطقة كبيرة في الفضاء ، فسوف تظهر فيها بعض المجالات النسبية الصغيرة الخاصة بالجسيمات البعيدة نتيجة رصدنا من منظومة معينة هاوية ، وتعزى هذه المجالات إلى التأثير المدى المشار إليه في الفصل السابق • ومن ثم ، فأياً كانت المنظومة الهاوية التي ترصد منها حركة الجسيمات في المنطقة البعيدة ، من شأن خطوط مسار الجسيمات في الرسم البياني أن تزداد انحناء كلما كبر حجم المنطقة المعنية • ولما كانت المسارات تحيد عن الخط المستقيم بدرجة واحدة بالنسبة لكل الجسيمات فهذا يبعث على التفكير في أنه قد يكون أكثر ملاءمة أن نعتبر الجاذبية - التي تسبب هذا الانحناء في خطوط المسار - خاصية من خصائص المكان - الزمان ذاته ، بدلاً من اعتبارها مجرد نوع من التأثير الواقع عليه •

وثمة طريقة لرسم خريطة المكان - زمان تتسم بقدر أكبر من العمومية بحيث تؤدي الى زوال الانحناء من مسارات الجسيمات ، بمعنى آخر ، أن تمثل الخريطة رؤية أى مراقب فى حالة سقوط حر فى أى مكان بدلا من أن تتركز على منظومة محلية واحدة فى حالة سقوط حر . وتتضح طبيعة هذا التعميم بعقد مقارنة مع الخرائط الأرضية العادية ، حيث تتسم هذه الخرائط باختلال نسب الأبعاد بشكل متزايد كلما اقتربنا من الحدود الخارجية للخريطة . ولو درسنا على سبيل المثال واحدة من هذه الخرائط المرسومة بالاسقاط المراكاتورى Mercator's Projection (أى ان خطوط الطول والعرض تمثل فيها بخطوط مستقيمة لا بخطوط منحنية) فسوف نلاحظ ان المناطق الاستوائية هى الأماكن الوحيدة على سطح الأرض ، المثلة فى هذه الخرائط بدقة ، وكلما اقتربنا من المناطق القطبية أخذت معالم الخريطة تختل بشكل متزايد . ويتعاطم هذا الاعوجاج بصفة خاصة عند منطقتى القطبين حيث يبتعد رسمهما كثيرا عن نسبهما الحقيقية . والسبب فى ذلك معروف بالطبع ويعزى ببساطة الى أن سطح الأرض كروى ولا يمكن بأية حال رسم سطح منحني على خريطة مستوية دون أن يحدث اعوجاج فى الشكل . غير أن هذا الاعوجاج يمكن أن يزول بسهولة لو رسمنا الخريطة على سطح كروى بدلا من السطح المستوى ، وتتيح هذه الطريقة الحصول على تصوير دقيق لسطح الأرض كلها وليس لمنطقة الاستواء وحدها . ولو قارنا بين الخريقتين ، المستوية والكروية ، فسنجد أن الخطوط التى كانت مستقيمة فى الخرائط المستوية (خطوط الطول مثلا) ، قد تحولت الى دوائر كبيرة تقسم السطح الكروى بشكل منساو .

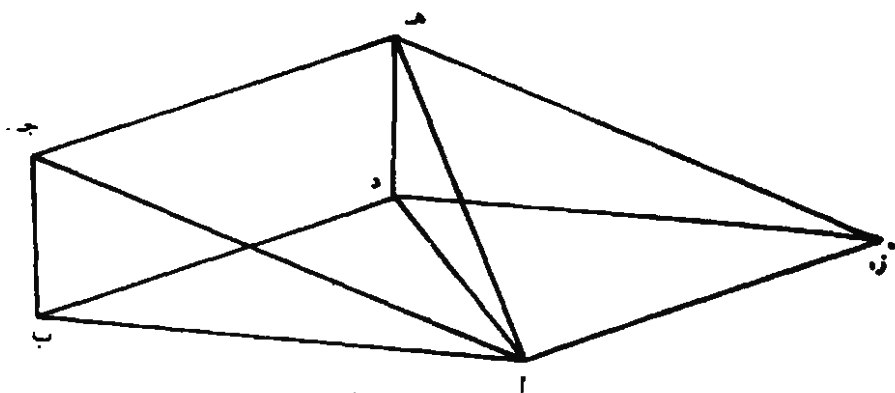
وتفيد هذه الاعتبارات بأن الاعوجاج الذى يحدث فى خريطة المكان - الزمان يعزى بالمثل الى أن نموذج المكان - الزمان ليس مستويا وانما هو منحني .

وقد تبدو فكرة المكان - الزمان المنحني محيرة أو حتى غير مفهومة فى بداية الأمر . ولكن قد يساعد على فهم هذا المكان - الزمان المنحني أن ندوس تأثير هذا الانحناء على كل من المكان والزمان على حدة . ولقد شغل إمكاني وجود مكان منحني ، بالعلماء الرياضية لسنين عدة . وربما كانت أفضل طريقة لفهم مثل هذه الأنواع من المكان أن نقارنها بالمكان المستوى . وعندما نتحدث عن المكان المستوى فاننا نعنى المكان (أيا كان تعدد الأبعاد فيه) الذى يخضع لقواعد الهندسة المستوية التى تدرس فى المدارس والتى وضع أسسها ، على نحو ما ذكرنا سالفا ، العالم اليونانى اقليدس



الشكل ٤ - ٧ لماذا يتسم المكان بالانحناء ، لو اسقطنا سحابة من الجسيمات من السكون من مكان ما فوق سطح الأرض ، فسوف تتجه كلها صوب المركز (على افتراض وجود عدد كاف من الثقوب في الأرض يسمح بذلك) وتتقارب المسارات كلها في خريطة المكان - الزمان المعنية وتتجمع عند هذه النقطة بعد مضي زمن مقداره (ن) . ورغم أن المواقف في حالة السقوط الحر يرى المسارات خطوطا شبه مستقيمة ومتوازية ، من شأن هذه الخطوط أن تتحنى تدريجيا للداخل صوب نقطة واحدة .

وعندما ندرس الهندسة ثنائية الأبعاد فإن ذلك يجري دائما على ورق مسطح ، ولو ظلت الورقة مستوية فسيكون من اليسير إثبات العديد من الخصائص المألوفة للأشكال الهندسية . ومن بين هذه الخصائص الأولية أن مجموع الزوايا في أي مثلث يساوي قيمة زاويتين قائمتين . ومن شأن هذه القواعد ، المستنتجة من الأشكال المرسومة على أسطح مستوية ، أن تنطبق على الأماكن ثلاثية الأبعاد إذا أمكن دائما بناء شرائح عبر المكان تكون هي ذاتها مستوية . وما دعنا نستخدم الأجهزة المادية لقياس الزوايا والأبعاد في المكان ثلاثي الأبعاد (ليس من الضروري في الواقع رسم الأشكال) ، فإننا سنجد أن الهندسة الإقليدية المستوية تصلح تماما في حدود استخدام هذه الأجهزة ، للتطبيق بالقرب من سطح الأرض (انظر الشكل ٤ - ٨) .

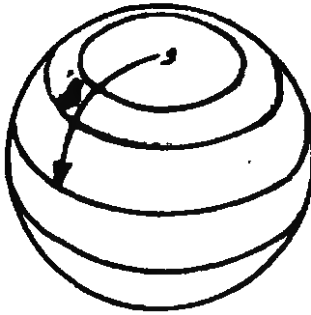


شكل ٤ - ٨

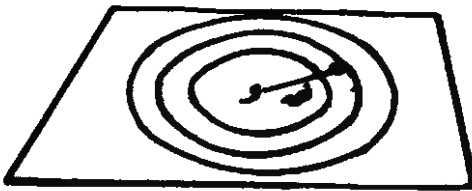
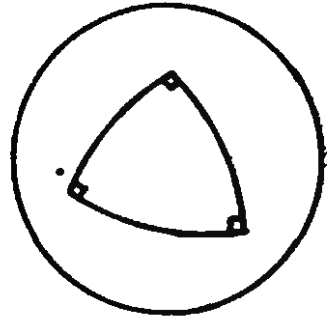
الشكل ٤ - ٨ : هل المكان ثلاثي الأبعاد يبدو مستويا ؟ لا شك ان قواعد الهندسة المستوية يمكن أن تطبق ، حتى حدود درجات الدقة في أجهزة القياس العادية ، على الاحجام ثلاثية الأبعاد (على سطح الأرض على الأقل) دون أن تكون هناك نسبة خطأ ملحوظة . فيمكن على سبيل المثال حساب طول المسار المائل (ا هـ) على السطح (ا ب ز) باستخدام زاوية الارتفاع (ب ا ج) وزاوية الميل (ج ا هـ) عن طريق تحليل الشكل الى مثلثات ومستطيلات مستوية على نحو ما هو مبين . ولأن قواعد الهندسة المستوية يمكن أيضا أن تطبق على الاحجام او الأماكن ثلاثية الأبعاد ، فالتا نقول « ان المكان يبدو مستويا » . ولكن لو استخدمنا أجهزة أكثر تطورا فسكتشف ان هناك في الواقع انحناءات طفيفة في الخطوط .

ولعلنا ندرس الآن حالة المكان المنحني . وقد سبق أن جسدنا في الباب الأول ، مثل هذا المكان على هيئة سطح كروي . ولا تنطبق قواعد الهندسة الاقليدية على الأسطح الكروية ، على نحو ما يتبدى في الشكل ٤ - ٩ . ولفهم هذا الشكل لابد أن نلاحظ أولا أنه لا يمكن رسم خطوط مستقيمة على أي سطح منحني ، ولكن يمكن أن نصل بين نقطتين على السطح بخط هو الأقرب الى الاستقامة بمعنى انه يمثل أقصر مسار على السطح بين النقطتين . ويسمى هذا المسار « الخط الجيوديسي » (geodesic) ومن خصائص الخطوط الجيوديسية على الأسطح الكرية انها تمثل دائما جزءا من دائرة التقاطع بين السطح والمستوى المار بالنقطتين ومركز الكرة . ولذلك نجد الطائرات تحلق في رحلاتها في مسارات هي أقرب ما يكون للخطوط الجيوديسية لتقلل المسافات الى حدها الأدنى . فالخط الجيوديسي الواصل على سبيل المثال بين نيويورك وطوكيو يمر بالقرب من القطب الشمالي ولذلك ينبغي على الطيار المسافر على هذه الرحلة أن يتجه شمالا في النصف الأول من الرحلة ثم جنوبا ليحلق في « أقصر » مسار .

(ب)



(١)



الشكل ٤ - ٩ : المكان المنحني - يعد سطح الكرة مكانا منحنيا
(على الصعيد الرياضي) • ولا شك أن مجموع زوايا المثلث في هذه الحالة
لن يساوى قيمة زاويتين قائمتين في هذا المكان • كما أن محيط الدوائر
لا يزيد دائما مع زيادة انصاف قطارها • ولكن لو اقتصرنا على منطقة
صغيرة يمكن اعتبار المكان مستويا وبالتالي لتطبق عليه مبادئ الهندسة
التقليدية

وترتهن خصائص الخطوط الجيوديسية بطبيعة السطح الذي تنتمي
إليه ، فمن الوازد دائما أن تكون هناك خطوط جيوديسية متوازية على
الأسطح المستوية • ولا تنطبق هذه الخاصية على الأسطح الكرية لأنه
من شأن أية دائرتين كبيرتين أن تتقاطعا مرتين (لو نظرنا على سبيل
المثال الى خطوط الطول على الأرض فسنجدنها كلها تتقاطع مرة عند القطب
الشمالي وأخرى عند القطب الجنوبي رغم أنها تبدو جميعا متوازية عند
خط الاستواء) •

ويمثل الشكل (٤ - ١٩) مثلثا كريا تتسم أضلعه بأنها جيوديسية •
ونلاحظ على التو في هذا الشكل أن مجموع زوايا المثلث تساوى قيمة
ثلاث زوايا قائمة (٢٧٠ °) وليس اثنتين كما في حالة الهندسة
المستوية •

ويصور الشكل (٤ - ٩ ب) مثالا آخر على هيئة مجموعة من الدوائر المتراكزة المرسومة حول النقطة (د) على سطح الكرة وأيضاً على سطح مستو . ومن خصائص الهندسة المستوية أن محيط الدائرة تربطه نسبة ثابتة مقدارها (٢ ط) بنصف القطر . أما في حالة الكرة فإن محيط دائرة ذات نصف قطر معلوم يقل عن (٢ ط نق) (لأن نصف القطر لا يقع على خط مستقيم) بل انه في الواقع سيقبل مع زيادة قيمة نصف القطر ما أن يمتد نصف القطر لمسافة تزيد على ربع المدار حول الكرة . وهذا يعنى أن هناك حداً أقصى للمحيط بالنسبة لهذه الدوائر . ومع ذلك نلاحظ في المثالين أننا لو اعتبرنا منطقة محدودة من سطح الكرة فستظل قواعد الهندسة المستوية تنطبق بدرجة تقريبية تماماً ، أما على النطاق الصغير فالسطح يكاد يكون مستويا .

ورغم أننا درسنا هنا المعالم الهندسية للسطح المنحني عن طريق « زرع » هذا السطح في مكان ثلاثي الأبعاد ، فبوسع المرء (ثنائي الأبعاد) ، المحدود تماماً بسطح الكرة ، ودون أن يفكر بمفهوما « الزائد » ثلاثي الأبعاد ، أن يستنتج من خلال المشاهدات المقصورة تماماً على ذلك السطح ، أن مجموع زوايا المثلثات الكبيرة على سبيل المثال لا يساوى قيمة زاويتين قائمتين . وبوسع المرء أيضاً أن يستنتج استحالة رسم خطوط متوازية في هذا المكان وأن يتوصل إلى العديد من الخصائص الهندسية الأخرى التي تتسم بها الدائرة . ومن بين الأساليب التي يمكن أن نلجأ إليها للتعبير عن ذلك هي القول بأن تلك الخصائص ليست مجرد سمات للطريقة التي اخترناها لزرع السطح في المكان المحيط ، وإنما هي خصائص أصلية مستمدة من طبيعة السطح ذاتها . وبالإضافة إلى هذه البنية الهندسية الحقيقية بوسع المرء (ثنائي الأبعاد) الطموح أن يستنتج من خلال الرحلات والمشاهدات البعيدة بعض الخصائص الطبوغرافية للكرة ، ومنها على سبيل المثال أنها عبارة عن سطح مغلق محدود .

ورغم أن الاعتبارات التي تطرقنا إليها حتى الآن كانت محدودة بالأماكن ثنائية الأبعاد (الأسطح المستوية) فإن النتائج العامة يمكن أن تنسحب على الأماكن ذات التعدد الأكبر من الأبعاد . فمن الواضح تماماً أن يخضع المكان الحقيقي ثلاثي الأبعاد (حتى المكان - الزمان رباعي الأبعاد) لقواعد الهندسة الكرية على سبيل المثال بدلاً من الهندسة الإقليدية . وقد يتسم الفضاء الكوني في مجمله بهندسة ذاتية خاصة به لا تمت بصلة للهندسة الإقليدية .

وتتصف الأماكن ثلاثية الأبعاد المنحنية ببعض الخصائص المميزة الغريبة . ولنفترض على سبيل المثال وجود تناظر بين الأماكن ثلاثية الأبعاد وحالة الكرة في المكان ثنائي الأبعاد . ففي حالة الكرة ليست هناك نسبة ثابتة بين نصف قطر الدائرة ومحيطها ، وهناك أيضا حد أقصى لمحيط الدوائر . أما في حالة الأماكن ثلاثية الأبعاد ، فيستعاض عن الدوائر بالكريات وعن محيطات الدوائر بمساحات أسطح هذه الكريات . وتقضى قواعد الهندسة الاقليدية بوجود نسبة ثابتة مقدارها (٤ ط) بين مربع نصف قطر الكرة ومساحة سطحها . وبالتناظر مع حالة المكان ثنائي الأبعاد ، فإن المكان الكروي ثلاثي الأبعاد يتسم بأن مساحات الأسطح هذه تقل بصفة عامة عن قيمة (٤ ط نق ٢) . علاوة على ذلك ، فبالنسبة للأشكال الكرية الكبيرة هناك حد أقصى لمساحة الأسطح بحيث مهما زاد نصف قطر الكرة بعد ذلك فسوف تقل مساحة سطحها ! ويتصف الحجم الاجمالي لمثل هذا المكان بأنه محدود . ومن شأن خاصية على مثل هذه الدرجة من الغرابة أن تبعث على المقارنة (من حيث المبدأ) بينها وبعض الشواهد في العالم الحقيقي . وسوف نناقش في الباب الخامس ماهية الدلائل التي تبعث على الاعتقاد بأن الهندسة الكبرى للكون توحى بأنه على هيئة كرية .

وتتمثل الفكرة الثورية الجريئة لآينشتاين في الربط بين هذه الاعتبارات الرياضية المتعلقة بالهندسة المنحنية والخصائص الطبيعية للجاذبية . ويقوم فكر آينشتاين على أن المكان - الزمان لا يمكن أن يكون « مستويا » في ظل وجود الجاذبية ، وبالتالي لا يخضع لقواعد الهندسة الاقليدية ، ولكنه يتخذ بدلا من ذلك بنية هندسية أكثر تعقيدا . وهذا يعنى أن الجسم في حالة السقوط الحر سيتحرك وفقا لهذه البنية المنحنية ، على أقصر مسار ممكن ، أى على خط جيوديسى . ولو لم تكن الجاذبية موجودة لصار المكان - الزمان مستويا ، ولتحول مسار هذا الجسم الى خط مستقيم ولتحول حركته الى حركة منتظمة خاضعة للعالم النيوتوني المألوف . ومن منطلق هذه المفاهيم الجديدة سوف يكون من شأن الاطار المرجعي الساقط سقوطا حرا في موقع ما في مجال جاذبية غير منتظم ، أن يسجل نوعا من عدم الاستواء في المكان - زمان المحيط به تماما مثلما تؤدي الهندسة المنحنية الى انحناء المكان - الزمان . أى أن الجسيمات الساقطة سقوطا حرا عند نقاط متباعدة ستتحرك في مسارات منحنية تتماشى تماما مع ما جرى في حالة المراقب الوارد ذكره في مثال الصندوق الساقط في الشكل ٤ - ٤ .

ولقد ذكرنا في الباب الأول أن نيوتن اكتشف قواعد الميكانيكا التي وضع أسسها ، عندما حاول الإجابة على السؤال القائل : لماذا تتماجل الأجسام ، وليس لماذا تتحرك بانتظام . فقد اعتبر أن الحركة المنتظمة هي حركة طبيعية ولا تحتاج الى تفسير ، وأن الحاجة لوجود القوى إنما هي من أجل « تفسير » السرعة المنتظمة للجسم وليس للبقاء عليها . وكانت الجاذبية تعتبر ذلك النوع من القوة التي تسبب سقوط الجسم بسرعة متزايدة صوب الأرض . ثم جاء اينشتين في القرن العشرين وتقدم خطوة إضافية ، حيث اعتبر أن الجسم الساقط سقوطاً حراً يعتبر في حالة حركة طبيعية ولكن وفقاً لمنظومة المكان - الزمان المنحنية . ومن ثم ليس هناك أى غموض بالنسبة للجاذبية . ولكن ما يحتاج الى تفسير بالفعل ليس هو لماذا تسقط التفاحة ، وإنما هو لماذا تتوقف التفاحة عندما ترتطم بالأرض ؟ ومثلما ألفى نيوتن من قبل القوى بالنسبة للحركة المنتظمة ، ألفى اينشتين أيضاً القوى بالنسبة لحركة السقوط الحر . فلا يحتاج الجسم الساقط سقوطاً حراً وجود أية قوة إلا إذا حاد تحركه عن السقوط الحر ، وما توقف التفاحة عند الاصطدام بالأرض إلا بمثابة حيد عن السقوط الحر ، فهو يأتي في هذه الحالة نتيجة قوى عينية لا تنتمي للجاذبية ، وتطيح بمسار المكان - الزمان الخاص بها بعيداً عن الخط الجيوديسي الطبيعي . وفي المقابل فإن الأرض لا تدور في مسارها المنحني حول الشمس لأنها تخضع لقوة تحيد بها عن الخط المستقيم وإنما لأنها تندفع بلا عائق من خلال المكان - الزمان المنحني . ويعد هذا التزاوج الباهر بين الجاذبية والهندسة واحداً من أروع انتصارات الفكر البشري على مدى التاريخ .

ولا شك أن توصيف الجاذبية باستخدام قواعد الهندسة ، على نحو ما شرحناه آنفاً ، لا يشكل في حد ذاته نظرية علمية . وكان على اينشتين أن يضع مجموعة من المعادلات الرياضية التي تصف بدقة كيف يعمل مصدر معلوم للجاذبية على اعوجاج منظومة المكان - الزمان القريبة منه ، ولقد اهتمدى في ذلك بعدد من المبادئ الأساسية : منها على سبيل المثال أن النظرية الجديدة ينبغي أن تؤول ، عند الحد الأدنى لمجالات الجاذبية الضعيفة والسرعات المحدودة ، الى نظرية نيوتن للجاذبية . ويعد هذا الشرط أساسياً لأن النموذج النيوتوني للجاذبية ظل (وما زال) مستخدماً بنجاح باهر على مدى أجيال . والشرط الثاني هو أن نظرية النسبية العامة ينبغي أن تؤول الى النظرية الخاصة فيما يتعلق بمجالات الجاذبية الضعيفة .

وتعد كتلة الجسم وفقا لنظرية نيوتن ، بمثابة مصدر طاقته . غير أن هذه الكمية لا تمد مصدرا ملائما في اطار نظرية النسبية التي تعتبر أن الكتلة تكافئ الطاقة (من خلال القانون $Q = K \text{ ض } ٢$) التي ترتبط بدورها بكمية التحرك (momentum) بطريقة تتماثل الى حد كبير مع التزاوج بين المكان والزمان في النسبية . وبالتالي ينبغي أن تبني أية نظرية جديدة للجاذبية يراد لها أن تتفق مع النسبية ، على اعتبار أن كل تلك الكميات الطبيعية المتمثلة في الاجهاد (Stress) والطاقة وكمية التحرك تولد الجاذبية .

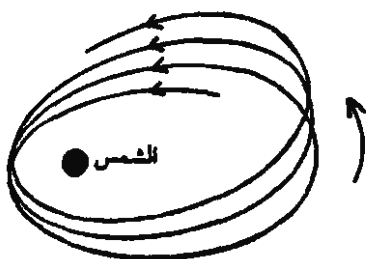
وتتمثل الخطوة التالية في ايجاد الكمية الهندسية الصحيحة للمكان - الزمان التي تتلاءم مع هذا المصدر . ولقد درس اينشتين العلاقة التي تربط بين الاجهاد والطاقة وكمية التحرك ونجح بالفعل في ايجاد الكميات الهندسية التي تصف انحناء المكان - الزمان ، والتي ترتبط ببعضها بنفس العلاقة تماما مثل الكميات الطبيعية الثلاث . وبالمساواة بين هاتين الكميتين معا - واحدة هندسية والأخرى طبيعية - توصل اينشتين الى معادلاته المجالية الشهيرة . وتصف هذه المعادلات بالتفصيل شكل الانحناء الذي يصفه توزيع معين (اجهاد - طاقة - كمية تحرك) ، على منظومة المكان - الزمان القريبة منه .

غير أن من أهم مساويء معادلات المجال التي وضعها اينشتين هي الصعوبة البالغة في حلها ، حتى انه على مدى الأعوام الستين التي انقضت منذ اكتشافها لم يتم التوصل الى عدد محدود للغاية من الحلول الصحيحة . ومع ذلك فلم يكد يمر عام ١٩١٦ حتى توصل أحد علماء الفضااء الألمان ، ويسى كارل شفارز شيلد **Karl Schwarzschild** (١٨٧٣ - ١٩١٦) الى واحد من أبسط وأهم هذه الحلول الصحيحة ومازال كذلك حتى اليوم . ويتعلق هذا الحل الفنى أطلق عليه اسم مكتشفه، بالمكان - الزمان القريب من جسم كرى . ورغم سهولة هذه المنظومة - المكونة من كتلة كرية محاطة بفراغ - فانها تشكل نموذجا رائعا للمجموعة الشمسية حيث يمثل الجسم المركزي فيه الشمس ، أما الفراغ المحيط بها فهو يمثل المنطقة التي تتحرك فيها الكواكب (مع افتراض اهمال جاذبية الكواكب ذاتها) . وبحساب المسارات الجيوديسية وفقا لنموذج شفارز شيلد للمكان - الزمان ، يمكن الحصول على أشكال مدارات الكواكب حول الشمس . وكانت قد تمت قبل ذلك بكثير معالجة هذه المسألة باستخدام نظرية نيوتن . وتفيد النتائج التي توصل اليها جوهانز كبلر **Johannes Kepler** (الألماني ، ١٥٧١ - ١٦٣٠) واكدها نيوتن ، بأن

الكواكب تتحرك في مسارات بيضاوية وتقع الشمس عند أحد المركزين ،
وهي نتائج مهمة تتفق الى حد كبير مع الشواهد .

وتقترب كثيرا النتائج المحسوبة وفقا لنظرية النسبية العامة من تلك
المحسوبة وفقا لنظرية نيوتن فيما يتعلق بمجموعتنا الشمسية ، غير أن
هناك بعض الاختلافات الطفيفة ولكنها بالغة الأهمية .

فبدلا من الحركة البيضاوية التامة ، وصفت نظرية اينشتاين المسار
بأنه بيضاوى أيضا ولكن مستواه يدور على نحو ما هو مبين فى الشكل
(٤ - ١٠) . غير أن هذا التأثير يعد بالغ الضعف ، فبالنسبة للكوكب
عطارد ، وهو أقرب الكواكب الى الشمس ومن ثم يكون هذا التأثير فى
قمرته ، لا تتجاوز قيمة زاوية دوران مستوى المدار ٤٣ ثانية كل قرن ،
أى أن الأمر يحتاج ثلاثة ملايين سنة لكى يتم مستوى المسار دورة كاملة .
ومما يبرز هذا التأثير أن هناك عوامل عديدة أخرى تسبب أيضا دوران
مستوى مسار عطارد ، بل وأكثر من ذلك أن تأثير هذه العوامل يزيد كثيرا
على قيمة التأثير الأول . ويمكن حساب مقدار هذا التأثير وأخذه فى
الحسبان . ولقد كان معروفا قبل أن ينشر اينشتاين نظريته أن مستوى



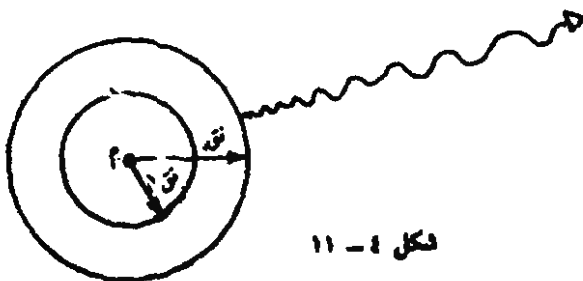
شكل ٤ - ١٠

الشكل ٤ - ١٠ . انحناء المكان - الزمان يؤدي الى دوران مستوى
مدار عطارد . اكتشف يوهانز كبلر أن الكواكب تسير فى مدارات بيضاوية
الشكل . وشرح نيوتن تلك الظاهرة باستخدام نظريته الخاصة بالجاذبية .
وتفيد نظرية اينشتاين أيضا بأن شكل المدارات بيضاوية ولكن مستوياتها
تدور ببطء شديد حيث لا تتجاوز زاوية الدوران بالنسبة لمستوى مسار
عطارد ٤٣ ثانية كل مائة عام .

مسار عطارد يدور بزاوية قدرها زهاء ٤٠ ثانية في القرن . وبعد هذا التفسير البارع والغريب لهذا التأثير ، الذى ينم عن انحناء المكان - الزمان ، واحدا من العدد المحدود للغاية من الشواهد التى تؤكد صحة نظرية النسبية العامة .

ولعلنا الآن ، وبعد أن درسنا تأثير انحناء المكان - الزمان على المكان وعلى مسارات جسيمات الاختبار المتحركة فى المكان - الزمان ، نتحول الى دراسة تأثير هذا الانحناء على الزمان والى بحث الكيفية التى يؤثر بها انحناء المكان - الزمان على معدل مرور الوقت تحت تأثير مجالات الجاذبية .

ومن السمات التى يتصف بها العديد من نظريات الجاذبية ، ومنها نظرية النسبية العامة ، أن آلات قياس الوقت اذا وضعت فى مجال جاذبية قوى ، أى بالقرب من سطح كتلة كروية ضخمة على سبيل المثال ، فإنها تجرى بمعدل أبطأ مما لو كانت موجودة على بعد كبير من هذه الكتلة . ومن الطبعى أن يكون هذا التمدد الزمنى واردا فى الحسابان فى اطار حل شفاورز شيلد ، غير أن تفاصيل هذه المسألة تتجاوز نطاق هذا الكتاب . ولو أن هناك من القراء من هو على دراية بنظرية الكم ويريد أن يستزيد فى هذا المجال فسوف يجد تحليل مفيدا لهذا التأثير فى الشرح المصاحب للشكل (٤ - ١١) . ومرة أخرى نلاحظ أن هذا التأثير يعد محدودا للغاية فى المجموعة الشمسية ، حيث لا يتجاوز مقدار التمدد الزمنى على سطح الأرض زهاء ١٠ - ١٨ ثانية لكل سنتيمتر رأسى . ومع ذلك ، فحتى مثل هذا التأثير المتناهى يمكن قياسه باستخدام نوع من الساعات الذرية . وتجدر الإشارة الى أن ما يناقش هنا هو المعدلات النسبية لمرور الوقت ، فلا ينبغى أن يتصور القارئ أن الوقت يمر بالقرب من الأرض بمعدل أبطأ منه فى الفضاء الخارجى ، وكل ما هنالك أن التزامن سيختل تدريجيا بين آلات قياس الوقت فى هذه المواقع المختلفة .

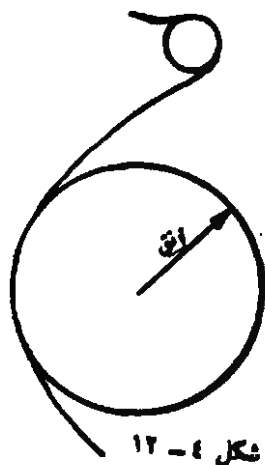


شكل ٤ - ١١

الشكل ٤ - ١١ نصف قطر شفاورز شيلد . يتسم الفوتون الضوئي من حيث ميكانيكا الكم بتريد يتناسب مع طاقته . وتفيد نظرية النسبية الخاصة بأن هذه الطاقة لها أيضا كتلة مقدارها ($هـ ض ٢$) . وباستخدام قوانين نيوتن يمكن حساب قيمة قوة الجاذبية المؤثرة على ($ض ٢$) بسبب الكتلة $هـ م$. (التي سنعتبر أنها مركزة في نقطة واحدة من قبل التيسير) وذلك من الكمية ($ج م هـ / ن ق ٢$) ، وبالتالي يصل مقدار الطاقة المفقودة نتيجة انفصال الفوتون من المسافة (ن ق) وتحركه إلى بعد سحيق إلى ($ج م هـ / ن ق$) ويصل مقدار الخسارة في التردد إلى ($ج م / ن ق ض ٢$) . ولو استخدمنا التردد الضوئي كوسيلة لقياس الوقت ، فإن ذلك يمثل عملية إبطاء نسبية لعمل مرور الوقت عند المسافة (ن ق) حسبما يرى مراقب يلف على بعد سحيق . وعندما تقترب قيمة (ن ق) من ($ج م / ض ٢$) ، أي عندما تقترب قيمة الكسر العشري من واحد ، سوف يؤدي ذلك إلى زيادة التمدد الزمني بدرجة بالغة وإلى أن تضعف بدرجة كبيرة شدة الضوء الذي يسعى للانتعاش . وتفيد نظرية النسبية الخاصة في الواقع بأن ذلك الوضع يحدث عندما تصل قيمة (ن ق) إلى ($ج م / ض ٢$) . وتعرف هذه المسافة باسم نصف قطر شفاورز شيلد ويرمز لها في هذا الشكل بـ (ن ق ١) . وتتسم معظم الأجسام في الكون بأن نصف قطرها يزيد كثيرا على (ن ق ١) ، ولذلك فإن تأثير التمدد الزمني يكاد لا يذكر .

٤ - ٣ الثقوب السوداء ، انقباض المكان - الزمان

ولو كان تأثير الجاذبية على المكان - الزمان مقصوراً على التبعات الضعيفة التي تناولناها آنفاً لبقيت نظرية النسبية العامة مجرد فرع معزول قى علم الفيزياء أو نوع من الخيلاء الفكرى . غير أن ما تجلى من شواهد فى الأعوام الأخيرة فجر احتمالات كبيرة لوجود أجسام فى الكون تبلغ جاذبيتها درجة من القوة تمكنها من التأثير على خصائص المكان - الزمان بالقرب منها ، بدرجة غريبة ومبهرة .



الشكل ٤ - ١٢ : تحديد مقدار الانحناء الخطي بقياس نصف قطر الدائرة
المماسية . وكلما كان نصف القطر صغيراً كان الانحناء كبيراً .

ويجدر هنا أن نتوقف قليلاً لبحث استخدام وصف « القوة » بالنسبة للجاذبية : فمتى يمكن اعتبار مجال الجاذبية قوياً ؟ والرد في هذا السياق هو : عندما يكون اعوجاج المكان - الزمان كبيراً . ولكي نتعرف على الملاحظات التي تتيح ذلك ، ينبغي أولاً أن ندرس كيفية قياس هذا الاعوجاج . ويمكن بصفة عامة تقدير انحناء خط ما بقياس نصف قطر الدائرة المماسية له (الشكل ٤ - ١٢) . وكلما كان نصف القطر صغيراً كان الانحناء كبيراً . ويمكن استخدام هذه الطريقة لقياس اعوجاج المكان - الزمان عند كل نقطة على الخط البياني . وبمقارنة هذه الانحناءات مع وحدات المسافة العادية يمكن الحصول على مؤشر لقوة الجاذبية .

ولعلنا نفترض الآن أن كل الكتلة الواردة في الحسابان في حل سفارزشيلد قد تركزت في لحظة ما في نقطة ، في هذه الحالة ، سيكون اعوجاج المكان - الزمان عند المسافات البعيدة من هذه الكتلة المركزة صغيراً . ولكن كلما اقتربت الكتلة اشتد مجال الجاذبية وازداد اعوجاج المكان - الزمان بدرجة كبيرة ، وعند مسافة معينة من الكتلة النقطة سوف يصل الانحناء إلى مقدار يمكن مقارنته بتلك المسافة ذاتها ، ويكون اعوجاج المكان - الزمان عندئذ بالفا . وبالتحليل المنطقي البسيط نجد أن هذه المسافة الحرجة ترتبط بكتلة الجسم (م) وبمعامل الجاذبية (ج) وأيضاً بسرعة الضوء (ض) لأنها تربط بين وحدات المكان والزمان على نحو ما أوضحنا في الباب الثاني ، والصورة الوحيدة التي يمكن أن تجمع بين

(ج) و (م) و (ض) وتعطى وحدات المسافة هي (ج م / ض ٢) .
ومن ثم ، وبفض النظر عن أى معامل رقمى ثابت ، من شأن هذه الكمية أن تحدد نصف قطر الكرة المحيطة بالكتلة النقطية والتي يصل عندها مقدار اعوجاج المكان - الزمان ، الناجم عن الجاذبية ، الى قيمة بالغة ٠ وكان قد تم التوصل الى نفس النتيجة باستخدام نظرية الكم ، على نحو ما هو مبين فى الشكل (٤ - ١١) . وكان أيضا المقدار (ج م / ض ٢) قد اكتشف قبل ذلك بكثير حيث عرفه الفرنسى بيير لابلاس Pierre Laplace (١٧٤٩ - ١٨٢٧) فى عام ١٧٩٦ بأنه نصف المسافة التى يحدث فى اطارها أن تتجاوز سرعة الافلات النيوتونية من كتلة ما سرعة الضوء .

ويمثل المقدار (٢ ج م / ض ٢) قيمة نصف القطر الخارج هذا وفقا لحل شفارزشيلد ، ولذلك تعرف هذه المسافة حاليا باسم نصف قطر شفارزشيلد . وبالتعويض فى هذا المقدار سنجد أنه يبلغ بالنسبة للأرض سنتيمترا واحدا وبالنسبة للشمس كيلومترا واحدا ، وهذا يعنى أن حجم كل من الجسمين يفوق بدرجة بالغة قيمة نصف قطر شفارزشيلد الخاص به ، أى أن مقدار الاعوجاج فى المكان - الزمان ، الناجم عن الجاذبية بالقرب من سطحيهما ، يعد بالغ الضالة .

ولا ينبغى أن يعتقد أحد أن هذا الاعوجاج يكون كبيرا بالقرب من مراكز الأجسام ، فليس من شأن حل شفارزشيلد إلا أن ينطبق على المناطق الخارجية ، أى المكان الخالى المحيط بالكتلة ، وهذا يعنى أن تأثير الاعوجاج لن يكون كبيرا إلا اذا انكمش الجسم كله الى حجم قريب من قيمة حد شفارزشيلد الخاص به . فلو تقلص على سبيل المثال نجم مثل الشمس ليصل قطره الى كيلومتر واحد أو نحو ذلك ، فسوف تصل كثافته الى قيمة خيالية تناهز ١٧١٠ مثل قيمة كثافة الماء ! أما بالنسبة للأرض ، فسوف تزيد كثافتها الى مليون مثل قيمتها لو تقلصت الى مثل حجم البيضة ! ولو تناولنا المسألة من الزاوية المقابلة فسنجد أن الأمر يقتضى ألا تزيد كتلة الجسم المجرى عن قيمة كثافة الماء ، أما الكثافة الحرجة للكون كله فلن تتجاوز مائة مثل الكثافة المعروفة حاليا للمادة الضوئية .

ولو انكمش جسم ما الى قرب حد شفارزشيلد الخاص به فسوف يكون من خصائصه أن الضوء ينبعث من سطحه سيفقد كل طاقته تقريبا فى عملية الافلات من تأثير جاذبيته انبالم ، وبالتالي سيصلو سطح مثل هذا الجسم شديد الظلام فى نظر مراقب ينظر اليه من مسافة بعيدة . وهذا هو أساس نظرية لابلاس التى وضعها فى ١٧٩٦ ، وهى تستند تماما على وجهة نظر نيوتن فيما يتعلق بالجاذبية . فقد طرح لابلاس احتمال أن تكون هناك أجسام ثقيلة فى الكون ولكنها حالكة السواد نتيجة عدم قدرة

الطاقة الضوئية على الافلات منها بسبب ضخامة الجاذبية . ومن شأن التمدد الزمني على سطح الأجسام ذات الكثافة البالغة - والتي ترصد بفضل هذا الضوء الضعيف - أن تصل قيمته الى ما لا نهاية ، ولذلك تبدو الأحداث فيها تجرى بدرجة من البطء حتى أن سطحها سيظهر كما لو كان مازال في «العصر الجليدي» . ولهذا السبب فقد أطلق في وقت من الأوقات على هذه الأجسام المفترض وجودها اسم « النجوم الجليدية » ، رغم أن هذا الاسم ينطوي على نوع من المغالطة لأنه من المفترض أن تبدو أسطح هذه النجوم سوداء تماما . ويستخدم حاليا اسم آخر لهذه النجوم هو « الثقوب السوداء » Black holes وهو يبدو أكثر ملاءمة .

وقد وضع علماء الفلك عددا من التصورات للأسلوب الذي يمكن أن يتكون به في الواقع ثقب أسود في الكون . فعلى سبيل المثال ، من المتفق عليه بصفة عامة أن الكون منذ عشرة مليارات سنة كان بالغ الكثافة ، وكان كل ما نراه الآن من فلك منتشر ، مضغوطا بشكل عظيم . ومن الوارد في هذه الظروف أن تكون بعض الكتل الكثيفة من المادة قد وقعت فريسة جاذبيتها الذاتية فتقلصت الى ثقوب سوداء ميكروسكوبية لا تزيد في حجمها على الجسيمات دون الذرية ولكن تصل كتلتها الى نحو ١٠١٠ جم . وفي المقابل قد يكون الأمر أيسر بالنسبة لأجسام أخرى توازي كتلتها كتلة ملايين النجوم ، أن تنقبض الى نصف قطر الثقب الأسود ، لأن الكثافة الملائمة المطلوبة في هذه الحالة لم تكن غريبة بالنسبة للمحيط من حولها .

وربما كان الأسلوب الأقرب الى المنطق بالنسبة لتكون الثقوب السوداء هو ما يحدث للنجوم الثقيلة العادية . فلقد ساد في الأعوام الأخيرة اقتناع متزايد بأن الثقب الأسود يمثل النهاية الطبيعية لحياة بعض أنواع النجوم الثقيلة . ولهم ذلك ينبغي أن نخرج بالحديث في ايجاز الى بنية النجوم .

إن معظم النجوم في الكون تتماثل مع شمس مجرتنا ، وهي تتكون أساسا من أخف عنصر في الوجود وهو الهيدروجين ، ويصل قطرها بصفة عامة الى زهاء واحد ونصف مليون كيلو متر . ويعتقد انها ليست على درجة كثافة بالغة للسبب التالي : تحاول جاذبية المادة النجمية جذب الهيدروجين صوب جوف النجم ما يسفر عنه ارتفاع درجة حرارة الغاز المنضغط . وتصل الحرارة بالقرب من المركز الى درجة فائقة (بضعة ملايين درجة مئوية) بحيث تتولد عملية اندماج نووى - وهي الظاهرة التي تقوم عليها القنبلة الهيدروجينية . وتمثل عملية الاندماج في مسابقة بين قوى الجذب النووية قصيرة المدى (المبنية على التفاعل القوى) بين

البروتونات والنترونات فى النوى الذرية وقوى التنافر الكهربائية طويلة المدى فيما بين البروتونات بما أنها تحمل شحنات متماثلة . ولكن من شأن الحرارة الفائقة فى جوف النجوم أن تجعل الأنوية الذرية المتحركة بسرعة عالية ترتطم ببعضها بشدة تكفى للتغلب على قوى التنافر الكهربائية وتقترب من بعضها ، بما يفسح المجال لأن تتغلب قوى الجذب التى تفوق كثيرا فى شدتها قوى التنافر . وتسفر تلك العملية عن اندماج الأنوية الأخف (كنواة الهيدروجين) لتكون أنوية أثقل (كنواة الهيليوم) ، مع تحول جزء من الكتلة الاجمالية الى طاقة فى شكل فوتونات ونوترينوات على هيئة أشعة جاما .

ولهذه الطاقة تأثيران : الأول هو الإبقاء على سخونة النجم بحيث تستمر عملية الاندماج . والواقع أن النجوم من قبيل شمسنا تتسم بالاستقرار والانتظام نتيجة التوازن بين ما تفقده من حرارة فى الفضاء المحيط بها وبين الطاقة الناجمة عن الاندماج النووى داخلها . أما التأثير الثانى فيتمثل فى أن الضغط الناجم عن هذه الطاقة يحول دون انقباض الطبقات الخارجية للنجم صوب الداخل مما يجعل كثافة المادة النجمية أقرب الى الضالة (فهى تقل عند سطح الشمس على سبيل المثال ، عن كثافة الماء) . وفى إطار سلسلة الاندماج النووى يعد تحول الهيدروجين الى هليوم هو العملية التى تنتج أكبر قدر من الطاقة ، ولذلك تتناقص كمية الهيدروجين تدريجيا حتى يأتى الوقت الذى يكاد ينفد فيه ، وعندئذ تبدأ عملية اختلاف ميزان استقرار النجم ويقبل على مرحلة أحداث عنيفة . وإذا كانت تلك المرحلة غير متوقعة بالنسبة لشمسنا على مدى آلاف الملايين من السنين القادمة ، فإن مثل هذه الأحداث قد وقعت بالفعل لنجوم يصل وزنها الى بضعة أمثال كتلة الشمس ، وهذه النجوم ليست نادرة الوجود . وقد لا تعنينا فى هذا المقام تفاصيل ما يحدث بعد ذلك ، ولكن يهمنا أن نعرف أن نهاية النجم اما تأتى فى صورة انفجار مروع ، أو على هيئة انقباض فظيع تحت تأثير الجاذبية . وقد علم الناس منذ أمد بعيد أنه عندما ينضب الوقود النووى فى حوف نجم ما فلا مفر من تعرضه لعملية انقباض تجعله بالغ الكثافة . وقد تم بالفعل رصد بعض من مثل هذه النجوم التى يطلق عليها المتقزومات البيضاء (White dwarfs) والتى تزيد الجاذبية على سطحها على آلاف أمثال مثل جاذبية الشمس . ويبلغ من كثافة مادة المتقزم الأبيض أن حجم الطن الواحد منها لا يزيد على حجم الكسـتبان ..

وإذا كانت المتقزومات البيضاء لا تتعرض لمزيد من الانقباض ، فإن ذلك يعزى الى نوع آخر من تأثيرات ميكانيكا الكم يعرف باسم ضغط

التفسخ الالكتروني (electron degeneracy pressure) ومع ذلك، فليس من شأن هذا التأثير الجديد أن يتحمل كتلة تزيد على ١.٤٤ مثل كتلة الشمس . ومن ثم مازالت هناك فرصة لتكون أجسام تزيد كثافتها على كثافة المتقرزمات البيضاء ، ويبلغ من قوة الجاذبية في مثل هذه النجوم أن الذرات تنهار فيها وتتحول الى نوترونات . وتصل الكثافة في هذه النجوم النوترونية الى قيمة تفوق الخيال ، حيث لا يزيد قطرها على بضعة كيلو مترات بينما تكون كتلتها في حدود كتلة الشمس . ويقدر وزن مقدار ملمعة صغيرة من مادة النجوم النوترونية بنحو مائة مليون طن !! ولو أن عابرة المحيطات «QE 2» سقطت في نجم نوتروني لتقلصت الى مثل حجم حبة الأرز .

ومن شأن ضغط التفسخ الالكتروني أن يبقى على النجوم النوترونية ، ولكن ، ومرة أخرى ، يستمر ذلك الدفاع حتى وزن معين . أما فيما يتعلق بالنجوم بالغة الثقل ، فلا يبدو أن هناك شيئاً على الإطلاق يمكن أن يجعل مادتها تتحمل أكثر من ذلك وتقاوم الانهيار التام .

ورغم أن التفاصيل الدقيقة لعملية الانقباض ترتبن الى حد ما بالخصائص المفترضة لمادة النجم النوتروني الكثيفة ، فإن السمات العامة لهذه العملية معروفة جيداً . ومادما نتحدث عن انقباض أجسام تجاوزت مرحلة النجم النوتروني ، فانا نكون قد دخلنا في نطاق مجالات الجاذبية الفائقة التي ينبغي أن نستلهم فيها نظرية اينشتين للنسبية العامة لوصف هذه العملية . ولكي ننجح في استنتاج تحليل رياضي مباشر من هذه النظرية الرائعة ينبغي التغلب على ما تتسم به من تعقيد بالغ ، ولن يتأتى ذلك الا باستخدام نماذج مبسطة . ولذلك فقد جرت دراسات نظرية مكثفة على سبيل المثال بشأن انقباض الأجسام الكرية التي تخضع لبنيتها الهندسية الخارجية لحل شفارزشيلد . وقد وضعت بعض الاعتبارات التبسيطية ، في مقدمتها الافتراض بأن كل أجزاء النجم تسقط للداخل سقوطاً حراً ، أي أن نهمل كل الضغوط الداخلية .

ولو أن مراقبا يقف على سطح مثل هذا النجم فسوف يرى الأحداث تجري بسرعة فائقة ، حيث سينقبض النجم الى نسبة ضئيلة من حجمه في زمن يقل كثيراً عن الثانية الواحدة ، فما هي الا طرفة عين حتى يجد المراقب نفسه قد اجتاز حد شفارزشيلد بالنسبة للنجم . ولما كان سقوطه حراً فانه سيكون في حالة انعدام وزن عندما يجتاز هذا الحد الحرج ، وبالتالي لن يلحظ أي تأثير غريب على المكان - الزمان القريب منه . غير أن تسلسل هذه الأحداث سيختلف كثيراً بالنسبة لمراقب يقف على بعد فائق (بحيث لا يهوى للداخل مع انقباض النجم) . وبما أن نصف قطر النجم سيداني

حد شفارزشيلد ، فسيقترب سطحه من منطقة التمدد الزمنى اللانهائى .
ومن ثم ستبدو مراحل الانقباض هذه عن بعد متباطئة تدريجيا حتى يتمدد
الزمن بدرجة لا يتسنى بعدها رصد مزيد من الانقباض . وبالنسبة للمراقب
البعيد ستتوقف متابعة تطور الأحداث فى النجم عند النطاق الخارجى لحد
شفارزشيلد ، أى أن النجم سيتجمد للأبد من حيث الزمن .

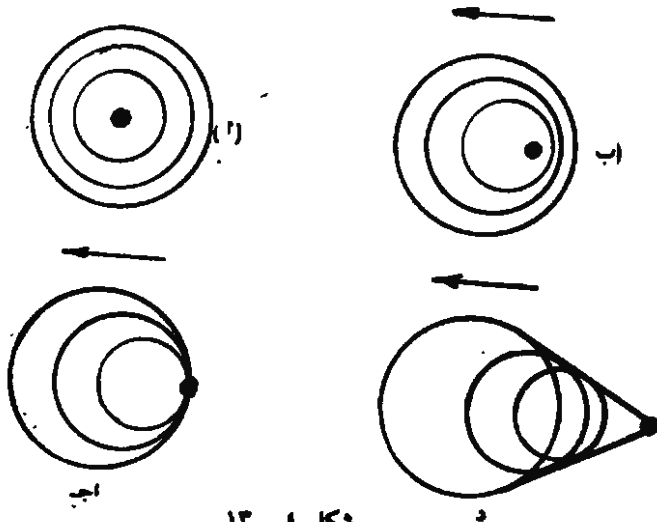
وإذا لم يحدث مزيد من التغيير ، فلن يكون من شأن المراقب البعيد ،
ههما طال انتظاره ، أن يرى مرحلة الانقباض الى الداخل من حد
شفارزشيلد . إذن ، فأى أحداث تقع بعد اجتياز النجم لهذا الحد الحرج
ستفب تماما عن العالم الخارجى (لأنها ستتجاوز «اللانهاية» فى الزمن) ،
ومن ثم يعتبر نصف قطر شفارزشيلد بمثابة « الحدث الأفق »
Event Horizon الذى يفصل بين ما يمكن أن يرصده العالم الخارجى من
أحداث فى النجم وما لا يمكن أن يرصد ، وهذا يعنى من زاوية أخرى
أنه لا مجال لأى حدث يقع داخل خط الأفق هذا لأن يؤثر بأى شكل من
الأشكال على العالم الخارجى .

ويمكن بسهولة فهم السمات النوعية للثقوب السوداء من هذا
القبيل ، بمجرد النظر الى الرسم البيانى للموجات الضوئية القريبة منها .
وقد يكون من الملائم استخدام النقط والدوائر لشرح تأثير الجاذبية على
الضوء ، على نحو ما هو مبين فى الشكل (٤ - ١٣) . وتمثل النقطة فى
هذا الشكل مصدرا ضوئيا فى الفضاء يشع ومضة ضوء فى كافة
الاتجاهات ، أما الدوائر فتمثل أوضاع الموجة الضوئية على مراحل متتالية
بعد ذلك . ومن طبيعة الموجات الضوئية ، فى حالة عدم وجود جاذبية
(الشكل أ) أن تنتشر بانتظام فى كل الاتجاهات ، أما لو كان هناك
مجال جاذبية فانه سيعمل على زحزة مقدمة الموجات الضوئية صوب
اتجاه تأثير المجال . ويعد هذا الاختلال بلا شك مظهرا من مظاهر اعوجاج
المكان - الزمان الذى تناولناه آنفا .

ويصور الشكل (٤ - ١٤) الوضع بالقرب من ثقب أسود . ويمثل
القرص المركزى النجم وقد انقبض الى أقل من حد شفارزشيلد المثل
بالخط المتقطع . وتتسم مقدمة الموجة الضوئية عند مسافة بعيدة من
الجسم (وسنرمز للموجة الضوئية بدائرة واحدة فقط من قبيل التيسير)
بأنها منتظمة بلا اعوجاج أو ازاحة . وكلما اقترب « الحدث الأفق »
تزعزحت دائرة الضوء أكثر فأكثر فى اتجاه النجم . أما الحدث الأفق
فى حد ذاته فيتميز باللحظة التى لا يكون فيها من شأن حد الموجة الضوئية
البعيد أن يتحرك مطلقا ، ويحدث ذلك عندما يأتى موقع النقطة على الحد
البعيد من دائرة الضوء (تلك اللحظة مبينة بشكل أكثر وضوحا فى

الشكل (٤ - ١٣ ج) • ولا ينبغي أن يغيب عن ذهننا أن الموجة الضوئية مازالت تنتشر محليا بسرعة الضوء ولكنها تتعرض لقدر من الزحزحة بحيث إن أقصى ما يمكن أن يصل اليه الضوء هو أن « يحد » هذه اللحظة ويبقى ثابتا عندها • ومن ثم فهما طال انتظار مراقب بعيد من النجم ، فلن يرى مطلقا هذه الموجة الضوئية التي تصارع دون جدوى قوة الجاذبية •

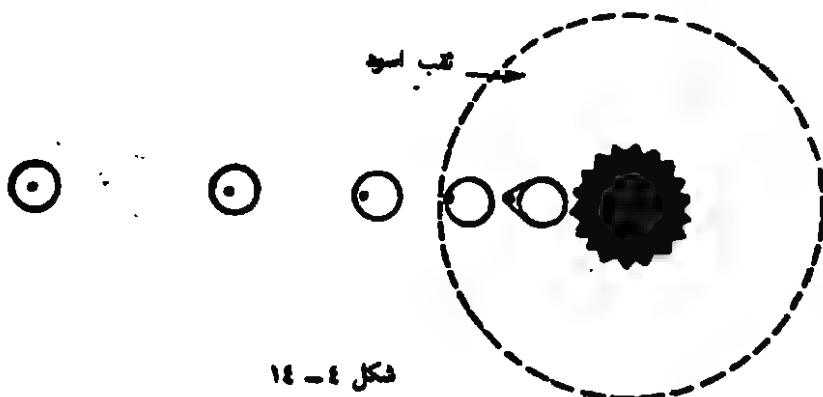
وبماثل هذا الوضع حالة عداء يجري على مضمار متحرك ، فهما أسرع الخطى منجبه المضمار للخلف • ويمثل العداء هنا الموجة الضوئية



شكل ٤ - ١٣

الشكل ٤ - ١٣ : من مظاهر اعوجاج المكان - الزمان أن الضوء يبدو كأنه ينحرف بفعل الجاذبية • وتمثل النقطة في هذا الشكل مصدرا ضوئيا يشع ومضة ضوء في كافة الاتجاهات • أما الدوائر فتتمثل الأوضاع المختلفة للموجة الضوئية على مراحل متتالية بعد ذلك • في الشكل (١) لا يوجد مجال جاذبية ولذلك نلاحظ أن الموجات تنتشر للخارج بشكل منتظم في كافة الاتجاهات • وفي الشكل (ب) نلاحظ أن مجال الجاذبية في اتجاه اليسار يعمل على تحريك الدوائر صوب هذا الاتجاه • ويمثل الشكل (ج) عملية تمديد للوضع عندما تقترب من حد شفارزشيلد (المين في الشكل ٤ - ١٤) • حيث تقع النقطة على مسافة ثابتة من مركز النجم وتعرض الدوائر للدار من الزحزحة بحيث لا يمكن لعددها اليميني ، التي تمثل حدود الموجات الضوئية الخارجة بعيدا عن النجم ، أن تتحرك لابتعد من ذلك • وهذا يعنى أن النقطة لن يرصدها أى مراقب بعيد (إلى اليمين) مهما طال انتظاره • أما الشكل (د) فيمثل الوضع داخل حد شفارزشيلد • ومرة ثانية تقع النقطة على مسافة ثابتة من مركز النجم ، ولكن زحزحة الدوائر في هذه الحالة تكون كبيرة لدرجة أن الموجة الضوئية يكتلا اتجاهي انتشارها (الداخلى والخارجى) ستتحرك صوب النجم جاذبة معها أى شيء يصادفها •

أما المضمار المتحرك فهو يمثل - مع التبسيط الشديد - المكان - الزمان المنقبض على هيئة ثقب أسود .



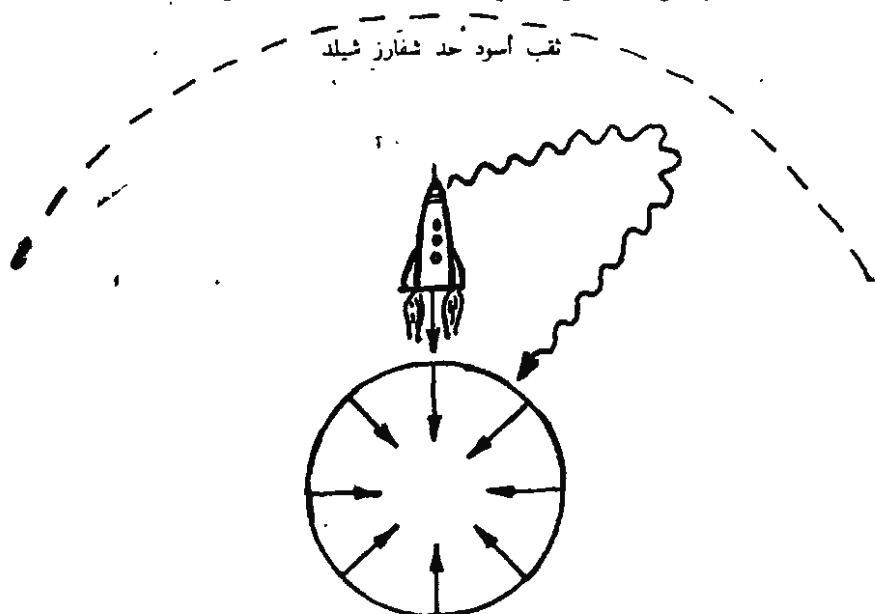
الشكل ٤ - ١٤ : مسلك الموجات الضوئية بالقرب من ثقب أسود .
من شأن دائرة الموجة الضوئية إذا وقعت داخل حد شفارزشيلد (الخط المتقطع) ، أن تتجه كلها ، بطرفيها المتباعد والمتقرب ، صوب مركز النجم ، ولن يتمكن أى مراقب بعيد أن يرى الأحداث الواقعة داخل هذه المنطقة من المكان - الزمان أنه لن يرى سوى الموجات الضوئية الواقعة في المنطقة الخارجة على الدائرة المتقطعة . أما المنطقة داخل هذه الدائرة فهي فراغ وسوداء - أنها ثقب أسود .

أما داخل « الحدث الأفق » فيبلغ من مقدار الزحزحة أن دائرة انتشار الموجة الضوئية ، باتجاهيها المتقرب والمتباعد ، تتجه في الواقع للداخل رغم استمرار اتساعها وتباعد أطرافها بسرعة الضوء . وهذا يعني أن الحدث الذي يشع الضوء لن يراه أحد مطلقاً من خارج الثقب الأسود ، أى لا مجال مطلقاً لافلات مثل هذه الموجات الضوئية . وكلما اقتربنا من الجوف ازدادت شدة الجذب وكبر مقدار الازاحة ، وبعد برهة ضئيلة ، ما أن يتولد أى شيء حتى ينجرف مباشرة صوب المركز .

ولما كانت سرعة الضوء هي السرعة الطبيعية القصوى التي لا يمكن لأي جسم أن يتجاوزها ، فمن الواضح أنه لو حدث ودخل مراقب في واحدة من دوائر الضوء ، فسيبقى فيها وهي تنجرف صوب جوف النجم . وحتى لو ركب هذا المراقب أقوى صاروخ في الكون ، فلن يكون بوسعه الفكاك إلى العالم الخارجى مرة أخرى ، أو حتى أن يظل في مكانه ، وما من قوة في الوجود من شأنها أن تحول دون أن ينجرف ويفوض إلى الداخل ، ليظل إلى الأبد محبوساً في أكثر سجن معزول في الكون دون حتى أن يتمكن من إبلاغ العالم الخارجى بمصيره . فلا سبيل إلى خروج أى شيء على .

الاطلاق من الثقب الأسود . بل ان النجم ذاته سيشترك في هذا المصير حيث ستنقبض مادته الى الداخل بشكل مذهل يفوق أى خيال .

ورغم أن تفاصيل مرحلة الانهيار الانقباضى ترتفع بشكل ما بالتكوين الداخلى للنجم وبنيته فإن وضعه الأخير المتجمد يبدو من بعيد مستقلا عن ذلك . ونتيجة لعملية الانقباض والزحزحة الحمراء الناجمة عن الجاذبية سيضعف الضوء المنبعث من سطح النجم ، بسرعة تصاعدية فائقة ، وان هى الا بضعة آلاف من الشوانى حتى لا يرى شئ . بالمرة من ذلك السطح سوى السواد - لقد تحول النجم الى ثقب أسود . ومن ثم لن تتيح مراقبة الثقب الأسود توفير أية معلومات عنه ، وأية ثقب سوداء « شفارز شيلد » ، متساوية فى كتلتها ستبدو متشابهة تماما . بل أكثر من ذلك انه لا يمكن التمييز بينها عن طريق قياس التأثيرات الطبيعية الدقيقة مثل القوى النووية



الشكل ٤ - ١٥

الشكل ٤ - ١٥ : داخل الثقب الأسود ! لو اجتاز مراقب حد شفارز شيلد فلن ينجح مطلقا فى الخروج مهما حاول ، حتى ولو ركب صاروخا . بل ان حتى اشارات الاستغاثة التى سيرسلها لن تصل ، وستتجه بدلا من ذلك فى عكس الاتجاه المرسلة اليه ، حيث ستجرف صوب المركز . أى انه لا فكاك ، لانه فى اللحظة التى يستغرقها سقوطه فى الثقب الأسود ، والتى تفوق الخيال فى قصرها ، يكون قد مر الدهر كله فى العالم الخارجى .

أو المجالات المغناطيسية . وتفيد النظرية الحالية بأنه أيا كانت مكونات الثقب الأسود ، سواء من المادة العادية أو المادة المضادة أو النيوتريونات ،

فلا سبيل حتى الى التعرف على أوجه الاختلاف بينها بأية وسيلة طبيعية معروفة .

وقد يبعث على الدهشة والابهار أن نفهم كيف يحول الثقب الأسود دون أن يعرف المراقب الخارجى ماهية مكوناته . فلا مجال مطلقا لأن ندل على سبيل المثال حبلا ينتهى بكلايات الى سطح الثقب سعيا الى التقاط عينة من مادته ، أو أن نطلق صاروخا فى اتجاهه لأن الجاذبية ستسحب أى شئ الى الداخل بشكل عنيف ، ولا سبيل الى العودة . ولن تسفر عن شئ أيضا عملية تسليط ضوء قوى صوب الثقب الأسود ، فسيلقى الضوء نفس مصير الحبل والصاروخ ، حيث ستمنع الجاذبية الجارفة المرحل الضوئية من الانعكاس .

ولن تشر كذلك أية محاولة للصق « بطاقة » على الثقب الأسود ، ولو تم على سبيل المثال تثبيت أية لوحة من الشحنات الكهربائية على سطح المادة المنقبضة ، فلن تختفى مع اقترابها من حد شفارز شيلد ولكن سيتعرض مجالها الكهربى للاعوجاج نتيجة انحناء المكان حول الجسم ، بحيث ستبدو كل الشحنات من بعد وقد تركزت صوب جوف المادة . ومن ثم ستفقد اللوحة معالمها ولن تتسنى « قراءتها » . وتفيد كل الحسابات التى أجريت لاختبار مدى ما يمكن أن يتحقق من نجاح فى « قراءة » كافة أنواع « البطاقات » باستخدام القوى الطبيعية بما فيها القوى الكهرومغناطيسية ، بأن الكتلة الاجالية والشحنة الكهربائية الاجالية تشكلان البصمة الوحيدة التى يتركها النجم المنقبض ، فى العالم الخارجى وأية معلومات أخرى تنجرف وتنسحق مع الانقباض .

وتنسحب ذات الاعتبارات كذلك على حالة انقباض الاجسام عبر الكرية ، حيث سيبدو أيضا الثقب الأسود الناجم عن انقباضها على هيئة كرية فى نظر المراقب البعيد .

ولعلنا نكون قد فهمنا الآن سر اطلاق اسم « الثقب » على الجورم من هذا القبيل . ورغم أن المادة المنقبضة تبدو من بعيد أكبر من حد شفارز شيلد بشكل مستديم ، فلا سبيل مطلقا لكشف طبيعة هذه المادة ، كما أنه ليس من شأن بنيتها أن تؤثر بشكل ملموس على الفلك البعيد بحيث لا يمكن بجميع المقاييس الوصول الى هذه المادة - لقد انزلت تماما عن الكون . ان الكرة الداكنة المتبقية من ذلك النجم هى أشبه ما تكون بثقب فى الفضاء - مجرد ثقب أسود .

ولقد تركزت مناقشاتنا حتى الآن فى هذا الموضوع على الشكل الذى تبدو عليه المادة المنقبضة لو رصدت من بعيد . وأيا كانت عجيبة هذه

الأحداث على النحو الذى تبدو عليه من بعيد ، فان تجربة المراقب المثبت على سطح الجسم المنقبض تأخذ أبعادا مختلفة تماما فى غرابتها .

فمع سقوط هذا المراقب مع المادة المنقبضة تزداد تدريجيا شدة الجاذبية على سطح النجم . . وإذا لم يكن لهذه الجاذبية تأثير محلى على الجسيمات الساقطة سقوطا حرا ، فان الأمر يختلف بالنسبة لجسم ممدود فى حجم جسد المراقب مثلا ، حيث سيبدأ فى التعرض لقوى مدية ، ويعزى ذلك الى أن الجسم المنقبض سيصل حجمه الى درجة من الضالة بحيث ان تأثير الجاذبية سيختلف فى شدته واتجاهه حتى بالنسبة لأبعاد. فى مثل طول الانسان ، ولو كانت قلما المراقب فى اتجاه جوف النجم فسوف يتعرض جسده للاستطالة لان الجاذبية عند قدميه ستكون أشد منها عند رأسه . ولما كان المكان من حوله ينقبض بسرعة مذهلة فسوف يتعرض المراقب أيضا للانكماش بل والسحق ! ولو افترضنا ان هذا المراقب يتمتع بجسم ضئيل بالغ القوة بحيث يتحمل لفترة هذه القوى المدية فسوف يستمر مع سقوطه يتابع كل ما حوله مهما تعقدت البنيات واختلفت التركيبات وغاب كل شئ عن العالم الخارجى .

ولا يتغير هذا السيناريو بأى شكل من الأشكال اذا ما أخذنا فى الحسبان تأثير الضغوط (وهو الاعتبار التبسيطى الذى افترضناه فى البداية) . فاذا كان من شأن المادة فى ظل الظروف العادية أن تتحمل الضغوط العالية ، وكلما زادت صلابتها اشتدت مقاومتها للسحق ، فانها ستفقد هذه المقاومة تماما لو تحركت بسرعة تقترب من سرعة الضوء على نحو ما أشرنا اليه فى الباب الثانى . ونحن نعلم أن جميع الخصائص الطبيعية للمادة محدودة بالسرعات الأقل من (c) . وبالتالى فان أى جسم غير قابل للانضغاط فى حالة السكون سيتعرض لا محالة للانهايار فى حالة السقوط بسرعة داخل الثقب الأسود . ومما يزيد من غرابة الأمر أنه كلما كانت مقاومة الجسم أشد كان انجرافه نحو الجوف أعتى ، لأن الضغط فى حد ذاته يعد - وفقا لنظرية النسبية العامة - مصدرا للجاذبية . ومهما بذل من جهود فى مقاومة السقوط فان كل المادة (بما فيها ذلك المراقب وصاروخه) سوف تبلغ مركز الثقب الأسود فى زمن لا يتجاوز واحدا على عشرة آلاف من الثانية (حسب الوقت المقاس) من بعد اجتياز « الأفق » .

وتفجر هذه النتيجة واحدا من أعقد الألغاز فى العلم الحديث : فمماذا يحدث فى جوف الثقب الأسود عندما ينتهى المطاف بالمادة هناك ؟ وكثيرا ما يطرح هذا السؤال جانبا باعتبار أن أيا ما يحدث داخل الثقب الأسود فلن يأتى بأية عواقب على العالم الخارجى . غير أنه ليس من شأن مثل هذه

الاعتبارات أن « تشنى عزم » الفضول العلمى ، ومن ثم لم تنقطع المحاولات الرامية الى حل هذا اللغز المثير .

ولكن قبل بحث هذه الاعتبارات يحسن بالقارىء أن يضع هذه المناقشة فى اطارها السليم ، فأولا وأخيرا ما نظرية النسبية العامة - التى تقوم عليها كل الدراسات المتعلقة بالثقوب السوداء - الا مجرد نظرية . صحيح أن نتائجها تتحقق فى نطاق مجالات الجاذبية الموجودة فى المجموعة الشمسية ، ولكن داخل الثقوب السوداء تتعاطم الجاذبية الى الملايين من مثل قيمتها فى عالمنا . فلا أحد يعلم الى أى مدى يمكن أن تنطبق هذه النظرية بشكل صحيح وبأية درجة ، وأى من سماتها سيظل ساريا لو ظهرت نظرية أفضل منها . فنحن نعلم أن لكل نظرية حدودها . وبمعنى ذلك على أن نبحث الى أى مدى ستأخذنا نظرية النسبية العامة ، فقد تكتشف فى الطريق شيئا مهما . وربما كان ذلك هو السبيل الوحيد لمعرفة ما يحدث داخل الثقوب السوداء دون السقوط فى واحد منها . ومع ذلك فلا ينبغي أن نفعل أننا نتحدث عن العالم المبني على نماذج للثقوب السوداء وليس عن العالم الحقيقى .

فمع استمرار الانكماش الكرى العاصف تتضاعف كثافة المادة داخل النجم بشكل متصاعد ، ولقد بلغت بالفعل درجة مذهلة من الانضغاط وصارت كل خصائصها مجهولة . وتتعاظم أيضا القوى المادية ويتزايد انحناء المكان على سطح المادة المنقبضة بسرعة تصاعدية مما يؤدي الى سحق كل البنيات المحتملة . وتؤكد نظرية النسبية بأنه ليست هناك نقطة معينة يتوقف عندها هذا الانكماش الا لو تعرضت المادة لشيء غير مألوف . ومن شأن أية نظرية علمية طبيعية عندما تتطرق الى حدها الأقصى أن تصل فى المعتاد الى شيء أخرق . ويتمثل هذا الشيء الأخرق فى حالة الثقوب السوداء فى التكهن بأن كل المادة التى يتكون منها النجم ستسحق وتنقبض الى نقطة واحدة (من وجهة نظر الرياضيات) . وعند هذه المرحلة ستصل كثافة المادة وانحناء المكان الى قيم لا نهائية . ويطلق على هذا الشيء الأخرق فى علم الرياضيات اسم (singularity) بمعنى المنتهى المبهم أو الفداذة ، وليست الفداذة شيئا ماديا وانما هى نقطة النهاية التى تؤول إليها كل أغرع الفيزياء المعروفة .

ولقد اتفق فى وقت من الأوقات على أن الفداذة هى نتيجة مرهونة بطبيعة النموذج المستخدم فى دراسة الانقباض الناجم عن الجاذبية . فلو افترضنا دائما أن النجم المنقبض كرى الشكل فلا بديل عن أنه سيتقلص الى نقطة لو استمرت عملية الانقباض . ومن المنطقي أن نفترض أن المادة فى العالم الحقيقى ستتقلص الى نقطة قريبة جدا من المركز الحقيقى

للجسم • غير انه لا يبدو أن الفذادة ترتعن بشكل صارم بالنموذج المقترض للمادة المنقبضة • ولقد أثبت اثنان من علماء الرياضيات البريطانيين هما ستيفن هوكنج Stephen Hawking وروجر بنروز Roger Penrose فى واحدة من سلسلة النظريات المقصورة على البنية الطبوغرافية للمكان - الزمان ، أن الامر سيؤول حتما الى فذادة طالما لم يحدث تغير خارق فى طاقة المادة المنقبضة وضغطها •

ومما يبعث على الأسف أن هذه النظريات لا تنطوى على شىء يذكر من المعلومات بشأن طبيعة الفذادة ، والمفهوم الوارد فى تلك النظريات بشأنها يقل كثيرا فى وضوحه عن وصف ما يحدث فى مركز الانقباض الكرى ، وكل ما يمكن أن يقال فى هذا المجال هو أن أى مسار لجسيم ما عبر المكان الزمان لابد أن ينتهى ، أى أن أى جسيم يسقط فى هذا المسار لا يمكن أن يبقى فى المكان - الزمان • ويقال أحيانا فى وصف ذلك ، بأن هناك حدا أو حافة للمكان - الزمان ، أو أن المكان - الزمان يصل الى منتهاه عند الفذادة • ويقال أيضا ان أية مادة تصادف فذادة تخرج توا من المكان - الزمان • ولا توضح نظريات هوكنج - بنروز ما اذا كانت المادة المنقبضة ستصطلم بالفعل بالفذادة أم لا • وعلى أية حال فاذا لم تتمكن المادة من الخروج من المكان - الزمان من هذا الطريق فلا مجال مطلقا لأن تعود مرة أخرى الى عالمنا حيث انها ستدخل فى مصيدة « الحدث الأفق » • ويتسع المجال فى بعض النماذج المقترضة للثقوب السوداء ، والتي تتسم بدرجة من العمومية تفوق حل شيفارز شيلد ، بحيث تسمح للثقب بأن يدور وبأن يحمل شحنة كهربية • بل ان بعضا من هذه النماذج يصور سمة غريبة تمثل فى أن المادة قد يكون من شأنها أن تتلافى الفذادة وتعبير الى مناطق جديدة من المكان - الزمان تتصل بعالمنا من داخل الثقب الأسود • وتتسم هذه « الأكوان الأخرى » بالطبع بأنها متوالية خلف « الحدث الأفق » • وتفيد مثل هذه النماذج الخاصة فى أنها تفتح المجال للتوصل الى شىء ما بشأن طبيعة المكان - الزمان ، ولكن لا ينبغى أن ننظر اليها كنماذج للكون الحقيقى •

ولا شك أن التنبؤ بوجود فذاذات فى المكان - الزمان يفجر مسائل بالغة الغموض ، حيث اننا لايمكن أن نستمر فى استخدام الفيزياء العادية فى مثل هذه المناطق وبالتالى لايمكن التنبؤ بما يمكن أن تسفر عنه •

وقد بعثت هذه السمة البغيضة للفذاذات روجر بنروز الى طرح افتراض بوجود « ميزان اقصى كوني » ويقضى هذا الافتراض بمنع حدوث الفذاذات ما لم تكن داخل « الأحداث الأفق » ، ومن ثم فليس من شأن

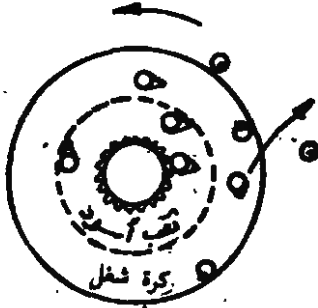
الفجاذة الموجودة داخل ثقب أسود أن تأتي بأية تأثيرات مجهولة على العالم الخارجى . وترجع الدراسات الرياضية بشكل كبير صحة مسألة « ميزان الاقصاء الكونى » غير أنه لم يتوصل أحد حتى اليوم الى اثبات ملموس لها .

ولو ثبت علم صحة هذه المسألة فمن الوارد تكوين فجاذات « عارية » (أى يمكن رؤيتها من مسافات بعيدة) . وقد بلغ الأمر ببعض الكتاب أن تكلموا بكآبة بالغة عن العقاقب الوخيمة التى يمكن أن تسفر عن مثل هذا الاحتمال على سائر الكون . ومع ذلك ، فلا يجب أن يغيب عن الأذهان أن النظرية الحالية ما هى الا نظرية تقريبية . فلو نظرنا على سبيل المثال الى تلك المسافة متناهية الضالة (١٠ - ٣٢ سم) ، فسنجد أن العوامل الكمية (التى سنتناولها بايجاز فى القسمين ٤ - ٤ و ٤ - ٥) من شأنها أن يؤثر على الجاذبية بطريقة لا يمكن للنظرية الحالية أن تصفها . ولا يمكن لأحد أن يعرف ما يمكن أن يكون من أمر الفجاذات فى ظل الجاذبية الكمية . وقد تظهر على مدى السنوات القليلة القادمة رؤية مختلفة تماما بشأن مفهوم الفجاذة .

٤ - ٤ - الثقب الأسود محطة لتوليد القوى

ولا يعد الثقب الأسود « الشفارز شيلدى » هو النوع الوحيد المعروف لدى العلماء ، فهناك أنواع أخرى يمكن من حيث المبدأ أن تتكون من مادة مشحونة كهربيا أو من مادة فى حالة حركة دورانية . ولا يختلف الأمر فى هذه الأنواع فيما يتعلق بالشكل العام للانقباض وبالأفق والفجاذة . غير أن الدراسات الرياضية الرامية الى اكتشاف بنية المكان - الزمان فى هذه الأنواع من الثقوب السوداء تظهر بعض السمات الجديدة المبهرة .

وبوضح الشكل (٤ - ١٦) تأثير الدوران على خصائص المكان - الزمان المحيط بثقب أسود فى حالة حركة دورانية . ويمثل الشكل مقطعا عموديا على محور دوران الثقب الأسود ويمر بمركزه . ونلاحظ مرة أخرى أن دوائر الموجات الضوئية تنحرف للداخل صوب المركز ، علاوة على أنها تنحرف أيضا مع الحركة الدورانية حول الجسم ، أى أنها ستتحرك فى اتجاهين : للداخل وفى اتجاه عرضى . وتمثل الدائرة الكبيرة ، المرسومة على مسافة معينة من المركز تسمى الحد الاستاتيكي ، حدا فاصلا تتحرك داخله دوائر الضوء بأكملها خارج الدائرة المتقطعة ، فيما يشبه الدوامة . ولو سقط أى جسم فى هذه الدوامة ، فسيدخل فى حركة حلزونية غير مرئية فى الفضاء تتجاوز سرعتها سرعة الضوء ، وما من قوة فى الكون من شأنها أن تحول دون انجراف هذا الجسم فى هذه الحركة الدورانية .



الشكل ٤ - ١٦ . الثقب الأسود الدوارة . تتجرف دوائر الموجات الضوئية في اتجاهين : للداخل وحول الجسم . وتبلغ شدة الانحراف داخل الدائرة الخارجية (الحد الاستاتيكي) درجة تجعل كل الموجات الضوئية ، سواء تلك التي تتحرك في اتجاه الدوران ذاته أو تلك المتحركة عكسه ، تدور في عكس دوران الساعة . غير أنه مازالت هناك فرصة للأشياء الضوئية المنبعثة من حدود الموجات الضوئية ، وهي الحدود الأبعد من مركز النجم . لأن ثقلت وتوجه صوب مراقب بعيد عن هذه المنطقة . أما داخل الدائرة المنقطعة فإن الانحراف يكون هائلا بحيث أن الحدود الخارجة من فواتر الموجات الضوئية تتحرك للداخل . وهذه هي منطقة الثقب الأسود التي ، لا يمكن أن تفلت فيها أشعة ضوئية .

ورغم السقوط في هذه الدوامة الجارفة ، مازالت هناك فرصة لمن تقوده المغامرة إلى هذه المنطقة ، لأن ينجو ويخرج منها ويعود إلى مسافة آمنة . يوضح الشكل ٤ - ١٦ أسلوب الفكك ! فرغم أن الفواتر تتحرك بأكملها إلى أبعد من الفواتر المنقطعة ، لا يتخذ التحرك اتجاه المركز مباشرة بل أنه يميل إلى واحد من الجانبين . ويلاحظ بالنسبة لدوائر الموجات الضوئية أن حدودها الخارجة البعيدة عن المركز مازالت تتحرك تدريجيا للخارج . ومن ثم يمكن لبعض الموجات الضوئية أن تفلت بهذه الطريقة ، وبالتالي يمكن أيضا أن يفلت مراقب متحرك بسرعة أقل من سرعة الضوء . أما على مسافة أقرب إلى المركز فهناك حدث أفق حقيقي ، ممثل في الشكل بالدائرة المنقطعة . ويبلغ من شدة الانحراف داخل هذه الدائرة أنه يحول تماما دون افلات أي ضوء أو مادة من هذه المصيدة .

ويطلق على هذه المنطقة العجيبة ، الواقعة بين الحد الاستاتيكي والحدث الأفق ، اسم كرة الشغل (ergosphere) بسبب الاحتمال الغريب التالي ، والذي اكتشفه روجر جنروز . فلو أن جسما انقسم إلى جزئين أثناء وجوده في هذه المنطقة . وسقط جزء منهما في الثقب الأسود ،

تفيد الحسابات بأنه لو جرت الأمور بشكل طبيعي فإن الجزء الآخر سيطفو ويعود بقدر من الطاقة يزيد على ذلك المقدار الذى دخل به ! ويعزى ذلك الى انتقال بعض من طاقة دوران الثقب الأسود الى الجزء الذى يطفو . ولذلك أطلق على هذه المنطقة اسم كرة الشغل (ergosphere) وهو اسم مستوحى من (ergos) اليونانية وتعنى الشغل . ويفيد هذا التفسير بأنه يمكن من حيث المبدأ تعزيز طاقة الجزء الذى يطفو بكفاءة تعادل كل كتلة الجزء المنحرف الى الداخل ، بما يجعل من الثقب الأسود الدوار أنشط آلية فى الوجود لتحويل الطاقة . وقد يصور مدنى فعاليتها أن نقارن بين الثقب الأسود كمصدر للطاقة وبين عملية الاندماج النووى التى تولد الطاقة فى الشمس ، حيث لو قدرناها بنسبة ١٠٠٪ لن تزيد فعالية الاندماج النووى على ١٪ .

وتعكس هذه العملية على الثقب الأسود ذاته حيث تؤدي الى إبطاء حركته نوعا ما . ومن ثم تتسم الطاقة المتولدة وفقا لنظرية بنروز بأنها محدودة بشكل ما . ويمكن وصف تلك العملية بقصة طريفة تصور حضارة وهمية قائمة حول ثقب أسود دوار ويرسل أهل هذه الحضارة كل يوم بنفاياتهم ومخلفات تكنولوجياتهم الى « كرة الشغل » فى شاحنات لتفريغها عبر الحافة وتصود حاملة مقدارا من الطاقة يوازى كتلة هذه المخلفات وتستخدم لصالح هذا المجتمع ، وبذلك يتسم الثقب الأسود بفائدة مزدوجة ، فهو لا يخلص ذلك المجتمع من نفاياته فحسب ، بل انه يدفع فى الواقع ثمن هذه الخدمة أيضا فى صورة طاقة ، انه يعد بمثابة محطة لتوليد الطاقة ، وقودها أى شئ أيا كان !

وتذكر صورة الثقب الأسود كآلية لتوليد الطاقة بالوضع الذى كان يواجه المهندسين والفيزيائيين فى القرن التاسع عشر عندما كانوا يسعون الى فهم المبادئ العامة التى تحكم كفاءة الماكينات العادية على الأرض وقدرتها . ولقد أدت دراسة الحركات الحرارية - وهى آليات تحول الطاقة الحرارية الى شغل والعكس - الى انشاء فرع جديد فى العلم يعرفه الآن باسم الديناميكا الحرارية (thermodynamics) وبعد هذا العلم أساسيا لفهم طبيعة الزمان فهما صحيحا ، ولقد تناولناه بالمناقشة بقدر أكبر من التوسع فى الباب الثالث . ويكفيينا فى سياق المناقشة الحالية أن نقول ان هذه الدراسة أسفرت عن اكتشاف مبدأ جوهرى بالغ العمومية يعرف باسم القانون الثانى للديناميكا الحرارية . ويقضى هذا القانون بأن الانتروبيا الإجمالية فى أية منظومة طبيعية لا يمكن أن تقل . ولو طبقنا هذا القانون على الحركات الحرارية ، فسنجد أن كفاءة خرج الماكينات من

الطاقة تبلغ حدما الأقصى في الحالات التي تبقى فيها الانتروبيا ثابتة وهي حالات العمليات العكوسية أي التي يمكن أن تجرى في الاتجاه والاتجاه المعكوس . ومن شأن العمليات دائما في العالم الحقيقي أن ترفع نوعا ما الانتروبيا الاجمالية . ويعد ذلك مثلا لعدم التناظر في الزمان على نحو ما أوردنا في الباب السابق . وهذا يعني ان الانتروبيا في ازدياد مستمر .

وتتسم الثقوب السوداء كذلك بنوع مميز من علم التناظر الزمني ناجم عن الخصائص الفريدة للحدث الأفق . ونذكر بان الحدث الأفق هو سطح يسمح بعبور الطاقة الى داخل الثقب الأسود ولا يسمح مطلقا بخروجها . ويمكن القول ببساطة انه نتيجة سقوط الأشياء في الثقوب السوداء فانه يبدو - ظاهريا فقط - أن حجمها يتزايد ولا ينقص مطلقا . وتعد مساحة سطح الحدث الأفق بمثابة قياس كمي لحجم الثقب الأسود . ولقد أثبت ستيفن هوكينج نظرية مهمة تستبعد تماما احتمال تناقص سطح الحدث الأفق أيا كان ما يجري داخل الثقب الأسود . وتتماثل هذه النظرية بشكل مباشر مع القانون الثاني للديناميكا الحرارية حيث يلعب الحدث الأفق هنا دور الانتروبيا . ويمكن أيضا أن يستخدم هذا الحدث لوضع حدود لمدى فعالية العمليات في الثقب الأسود ، ويتعلق أحد الأمثلة في هذا السياق بعملية اندماج اثنين متماثلين من الثقوب السوداء الشفارز شيلدية . ويتبدى بعملية حسابية بسيطة انه في حالة الحد الأقصى من الفعالية (أي في حالة عدم تغير مساحة سطح الحدث الأفق) تصل قيمة الطاقة الاجمالية التي يمكن أن تستمد من المنظومة الى ٢٩٪ من الكتلة - الطاقة الأصلية .

ولقد كانت أوجه التماثل هذه بين الثقوب السوداء والحركات الحرارية مجرد نوع من الفكاهة بين العلماء حتى بضع سنين مضت . وما كان أحد يتوقع أن يبرز احتمال استخدام الثقوب السوداء كآليات لانتاج الطاقة . ثم أعلن عن التوصل الى اكتشاف مذهش لم يؤكد صحة الصلة مع الديناميكا الحرارية فحسب وانما كشف عن مبادئ طبيعية جديدة يمكن أن تفتح آفاقا أرحب بكثير من الحدود الأكاديمية الضيقة لنظرية الثقوب السوداء ، وأن تسلط أضواء جديدة على طبيعة الجاذبية ذاتها .

ويتمثل أحد أنواع الصدع في الصلة مع الديناميكا الحرارية ، في أن الأمر كان يبدو مجرد تماثل . فلم تكن خاصية مثل درجة الحرارة (temperature)، وهي خاصية أساسية في أية مناقشة تتعلق بالحرارة ، تنطبق فيما يبدو على الثقوب السوداء ، لأنها على وجه التحديد سوداء . فمن شأن أي جسم أسود تماما ألا تكون له حرارة ، أي أن درجة حرارته

تساوى صفرا • لابد اذن أن يكون الثقب الأسود باردا ، بل أبرد من
أى شيء آخر فى الكون • ولم تكن فكرة وجود ثقب أسود ساخن تلقى
فيما يبدو قبولا كبيرا •

وقد لاح أول مؤشر لاحتمال ألا تكون الثقوب السوداء سوداء تماما ،
من دراسة عملية مماثلة لعملية بنروز لاستخراج الطاقة ، ولكنها طبقت
على الموجات الضوئية بدلا من الجسيمات ، حيث يمكن أيضا تقوية الطاقة
بالنسبة للضوء وتسمى هذه العملية الاشعاع الفائق (superradiance)
وهي تماثل عملية انتاج الليزر • وتتكون كلمة الليزر (laser) من الحروف
الأولى لعملية (Light amplification by the stimulated emission of
radiation) أى تقوية الضوء عن طريق تحفيز الانبعاث الاشعاعى ، وهي
عملية ترمى الى أن تجعل الذرات تشع ضوءا عن طريق تحفيزها بزيادة
من الضوء من نفس التردد • ولا يمكن فهم هذه العملية بشكل صحيح
الا من خلال قوانين الفيزياء الخاصة بالمنظومات الميكروسكوبية ، والتي
نسمى بنظرية الكم quantum theory ، وسوف نتحدث قليلا عن هذه
النظرية فى القسم القادم وتفيد النظرية بأنه من شأن الذرات أيضا أن
تصدر أشعة ضوئية بشكل تلقائى أى بدون تحفيز • ويعد الاشعاع
التلقائى هو الأسلوب الأساسى الذى تصدر به معظم الأجسام ضوءها
(ومنها الشمس على سبيل المثال) •

وقد طرح عالم الفيزياء الفلكية السوفيتى ي • ب • زيلدوفيتش
Ya B. Zeld'ovich فكرة مؤداها أنه لو كانت الثقوب السوداء السوداء
نعمل على تعزيز الطاقة الضوئية عن طريق الاشعاع الفائق ، فمن شأنها
أيضا أن تصدر ضوءا بالاشعاع التلقائى • وكانت تلك أول فكرة بشأن
امكان تطبيق نظرية الكم على الثقوب السوداء • ثم تولى هذه المسألة
الفيزيائى الكندى وليم أونرو William Unruh الذى أكد وجهة نظر
زيلدوفيتش وأثبت رياضيا أن من شأن الثقب الأسود الدوار أن يصدر
بالفعل ضوءا ضعيفا • وكلمة ضعيف هي الوصف المناسب ، لأن الطاقة
المتباعدة بهذا الأسلوب من ثقب أسود بكتلة توازى كتلة الشمس ، ستكون
على الأرجح أضعف من أن ترصد • ومع ذلك فمن الأهمية بمكان أن نفهم
بشكل صحيح الآلية المنسببة فى انتاج الاشعاع الضوئى • ورغم أن
نظرية عمليات الكم فى المكان - الزمان المنحنى ، التى استخلصها أونرو ،
ما زالت فى بدايات طور التجريب ، فقد يكون من المناسب تقديم صورة
سريعة عن اطارها الفيزيائى لأصحاب الفضول من القراء •

ويعنى ظهور اشعاع ضوئى ذاتى منبعث من ثقب أسود دوار أن بعضا من طاقة الدوران قد تحول الى طاقة كهرومغناطيسية . ويمكن بشكل عام تصوير الأسلوب الذى يتم به هذا التحول ، بالرجوع الى الدوامة الفضائية المحيطة بالجسم الدوار . فمن شأن الانجراف العنيف أن يولد نوعا من الخلل فى المجال الكهرومغناطيسى مما يؤدى الى انبعاث موجات من الطاقة هى الموجات الكهرومغناطيسية ، ويشمل هذا الخلل أيضا النيوتريونات وموجات الجاذبية . ويجدر القول بأن الاشعاع الذى نتحدث عنه فى هذا السياق ليس مستمدا من أى نوع من المادة - وهى المصدر العادى للطاقة الضوئية . فالمنطقة المحيطة بالثقب الأسود خالية تماما من المادة . إذن ، فالاشعاع هنا مستمد بشكل مباشر من الفضاء الخالى ذاته ! وبالتالي ليست الدوامة الفضائية المحيطة بالثقب الأسود مختفية تماما ، فهى تضوى بنور كمى ضعيف .

ولكن أيا كان ما تعنيه هذه النتيجة فهى لا توفر بشكل كامل درجة الحرارة المطلوبة لتعزيز الصلصلة مع الديناميكا الحرارية . وإذا كان النموذج الذى وضعه شفارز شيلد للثقب الأسود لا يدور فهذا يعنى أنه لن يصدر الاشعاع الذى يتحلث عنه زيلدوفيتش وأونرو . ولا يمكن أيضا القول بأن هذا الاشعاع له درجة حرارة مميزة لأن مجال تردده لا يتناسب مع خصائص جسم فى حالة توازن حرارى . ولقد جاءت الحلقة المفقودة عن طريق ستيفن هوكينج الذى عالج تلك المسألة رياضيا بعد أن بدت فى مطلع الأمر معقدة بدرجة تبعث على اليأس . فبدلا من أن يطبق هوكينج نظرية الكم على المرحلة الأخيرة المتمثلة فى الثقب الأسود ذاته ، طبقها على مرحلة الانقباض تحت تأثير الجاذبية ، فخلال هذه المرحلة يحدث ذات النوع من الخلل فى المجال الكهرومغناطيسى وتنبعث أيضا من الجسم المنقبض موجات من الطاقة الضوئية . ومرة أخرى لا تصدر الطاقة فى هذه الحالة أيضا من مادة النجم مباشرة ، وإنما هى تنتج عن المكان - الزمان المنحنى . ولعل أبرز ما يميز نتيجة هوكينج هو أنه عندما يكون النجم مهيمنا للتحول الى ثقب أسود يتحول أيضا الاشعاع المنبعث الى تيار متدفق منتظم من الطاقة مستقل تماما عن تفاصيل عملية الانقباض . وبدلا من أية اجابة بالغة التعقيد ، نجح هوكينج بذلك فى التوصل الى أبسط وأذكى نتيجة . وهذا يصنى أن الاشعاع المنبعث من نموذج شفارز شيلد للثقب الأسود يتسم على وجه التحديد بمجال التردد السليم الذى يتلام مع جسم فى حالة توازن حرارى ، وبدرجة حرارة لا ترتفعن الا بكتلته . وتعد هذه هى الحلقة المفقودة فى الصلة بين الثقب الأسود والديناميكا الحرارية .

ومن النتائج المترتبة على هذا الوضع الجديد أن القوانين الحاكمة في حالة الثقوب السوداء ستصبح ببساطة هي قوانين الديناميكا الحرارية العادية . وسيصير الحدث الأفق هو انتروبيا الثقب الأسود ، وبالتالي يمكن لهذا السطح أن يقل دون أن ينطوى ذلك على انتهاك للقانون الثاني ، شريطة أن تزيد الانتروبيا في البيئة المحيطة بالثقب الأسود ، بنفس المقدار على الأقل . وتترتب على ذلك نتيجة مهمة مؤداها أن حجم الثقب الأسود يمكن أن يقل . وبالطبع ، سوف ينكمش الثقب الأسود إذا كان أصلا ضئيلا بدرجة كافية . ويعزى ذلك الى العامل العجيب المتمثل في أن نموذج شفارز شيلد للثقوب السوداء ترتفع حرارته مع انبعاث الطاقة منه . وترتفع درجة الحرارة ، وفقا لحسابات هوكينج ، بقلوب كتلة الجسم . ومع انبعاث الاشعاع تنافس الكتلة وتزداد الحرارة مما يزيد من معدل انبعاث الطاقة الاشعاعية . وهذا يعنى أن المنظومة بأسرها تعد في حالة علم استقرار انفجارى .

ويمكن القول إذن ان الثقب الأسود ، بعد عمر ملثم ، سيتبخّر تماما ، ولن يبقى منه شئ على الإطلاق ! أى أن النجم الذى تحول بشكل مباشر الى ثقب أسود سيوارى فيما يبدو فى الكون ويتحول الى غلالة من الاشعاعات .

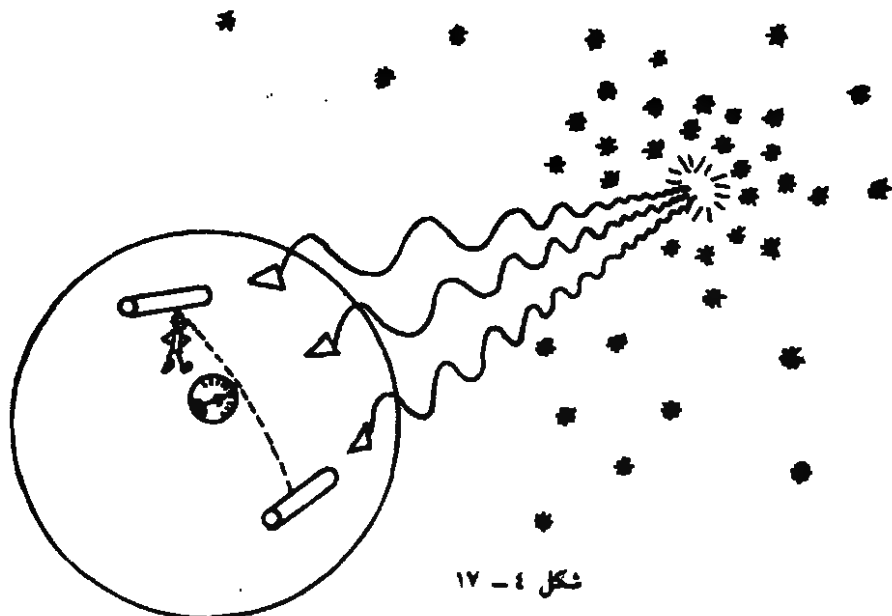
أما فيما يتعلق بالثقوب السوداء التى فى مثل كتلة الشمس فان درجة الحرارة فيها لا تتجاوز ١٠-٦ درجة . ولما كانت الاشعاعات فى هذه الحالة تتدفق من المحيط الساخن الى داخل الثقوب السوداء بمعدل أكبر من انبعاث اشعاعات هوكينج خارجها ، فمن شأن مثل هذه الأجسام أن تتضخم بدلا من أن تتبخّر . ومع ذلك، تمثل الثقوب السوداء الميكروسكوبية المذكورة فى ص ١٣٩ الى التبخر فى زمن يقاس بعمر الكون كله . وقد يكون هناك بعض من هذه الثقوب السوداء الضئيلة فى حالة احتضار انفجارى حاليا .

ويجدر أن نتذكر أننا فى هذا الموضوع الغريب والمبهر نتعامل مع الحدود القصوى للنظرية الرياضية الجارية . وتوحى العلاقات القوية مع الديناميكا الحرارية ، التى اكتشفها هوكينج وآخرون ، بأننا بدأنا عصرا سيماط فيه اللثام عن مبادئ جديدة بشأن الجاذبية ونظرية الكم . وتتسم النتائج الجديدة بشأن الكم بأنها مبشرة للغاية للوجه تفرض نفسها . غير أننا بعيدون تماما عن أى نوع من المساعدة المباشرة التى يمكن أن تؤكد مجريات الأمور على النحو المشار اليه آنفا .

ولا يفوننا قبل أن نترك موضوع الثقوب السوداء ان نحلل بايجاز احتمالات ان يتسنى لنا أن نشاهد واحدا منها . ونبادر بالقول بأنه لو كان هناك ثقب أسود بالغ الثقل في مركز المجرة ، فسوف يكون من شأنه على الأرجح ان يلتهم النجوم الواحد بعد الآخر بمعدل منتظم . ويفضى القانون الثانى للديناميكا الحرارية فى الثقوب السوداء بأنه لا مجال للثقب الأسود الا لأن يتزايد فى الحجم ، بمعنى أن المادة المنجرفة الى الداخل لا بد وأن تسبب زيادة فى المساحة الاجمالية للحدث الأفق . ومع ذلك تفيد الحسابات بأن جزءا من كتلة المادة الساقطة يمكن أن يتحول الى اشعاعات على هيئة موجات جاذبية . وتماثل موجة الجاذبية بالنسبة لمجال الجاذبية للموجة الكهرومغناطيسية بالنسبة للمجال الكهرومغناطيسى، فكلاهما يتحرك بسرعة الضوء ، ولكن بينما تنتج الموجات الكهرومغناطيسية عن عوامل خلل يتعرض لها مجال الجسيمات المشحونة المتعجلة ، تنجم موجات الجاذبية عن الأجسام ذات الكتلة (شحنة الجاذبية) .

ولقد شهدت السنوات الأخيرة جهودا كبيرة لبناء تلسكوبات جاذبية بهدف « النظر » الى مصادر موجات الجاذبية . وما أبسط الطريقة التى يتم بها رصد هذه الموجات ، حيث يستخدم التمدد الذى تتعرض له البنيات الهندسية الفلكية نتيجة مروق الموجة بجوارها ، فى أحداث ذبذبة رنانة فى أسطوانة معدنية . وتتسم الاسطوانات المستخدمة فى المعتاد لهذا الغرض بطول يبلغ بضعة أمتار وبأنها معلقة بطريقة بالغة الدقة لتقليل تعرضها لشتى أنواع الحلل الأرضى مثل الهزات الأرضية . ورغم ذلك تفيد الحسابات النظرية بأن الاحتمالات ضئيلة لأن تكون الموجات الناجمة عن أحداث الثقوب السوداء قوية بدرجة تبعث على ذبذبة أجهزة القياس العادية لدرجة الرنين ، ولذلك عادة ما تستخدم مجموعة من الأجهزة متصلة ببعضها على التوازي لتقوية الرصد .

ويحتل عالم الفيزياء الفلكية الأمريكى جوزيف ويبر Joseph Weber مركز الصدارة فى قائمة من رصدوا موجات الجاذبية . فلقد فجر موجة كبيرة من الاثارة عندما زعم منذ بضعة أعوام أنه رصد مصادر قوية للموجات فى مركز المجرة وساد اعتقاد واسع النطاق بأنها ضرب من الأحداث الجارية فى الثقب الأسود . غير أن أحدا لم ينجح منذ ذلك الحين فى أوروبا وأمريكا فى أن يؤكد هذه النتائج ، ويبدو أنه ينبغى علينا انتظار إنتاج جيل جديد من أجهزة الرصد يتسم بقدر أكبر من الحساسية والدقة حتى يحسم هذا الجدل .



شكل ٤ - ١٧

الشكل ٤ - ١٧ : تلسكوبات الجاذبية - من الاحتمالات الواردة أن تكون موجات الجاذبية فاجمة عن المقابض لقلب أسود في مركز المجرة ، ويمكن استخدام « موجات الخلل » التي تتعرض لها البنيات الهندسية الفلكية في بث لبذبة رقالة في القضبان المعدنية . ويستخدم هذا النوع من الأجهزة في المعتاد في محاولة لرصد مثل هذه الموجات ، وهي تستخدم في ثنائيات للتمييز العوامل المحلية مثل الزلازل .

ويتمثل الاحتمال الأرجح فيما يبدو في إمكان رصد ثقب أسود قريب في مثل كتلة النجوم . ولا يمكن رؤية مثل هذا الجسم بشكل مباشر لأنه على وجه التحديد أسود اللون . غير أن الثقب الأسود يستمر في التحرك تحت تأثير الجاذبية وثمة فرصة كبيرة أن تصادف واحدا يكون مشتركا مع نجم آخر عاوى في منظومة نجمية ثنائية . وتتمثل المنظومة النجمية الثنائية في نجمين يدوران عن قرب حول مركز جاذبية مشترك . ومثل هذه المنظومات الثنائية موجودة بكثرة في مجرتنا . ولو كان واحد من الثنائي ثقباً أسود فسوف يحاول أن يجرف المادة من قرينه . ومن شأن الغاز المنجذب أن يشكل قرصاً حول الثقب الأسود مع انجراف المادة المتحركة على هيئة دوامية صوب الداخل . ونتيجة لذلك ترتفع درجة حرارة الغاز بشكل بالغ حتى أنه بدلا من أن يشع ضوءاً مرئياً ، يصدر أشعة سينية .

ولقد أتاح التقدم التكنولوجى فى مجال الفضاء انتاج تلسكوبات لرصد الأشعة السينية ، ويمكن تثبيت هذه التلسكوبات فى الأقمار الصناعية وإرسالها الى خارج الغلاف الجوى للأرض . وقد كشفت الرحلات الأخيرة عن احتمال وجود عدد من الثقوب السوداء فى منظومات ثنائية ، ولعل أكثرها احتمالا هو ذلك المرجح وجوده فى برج الدجاجة (Gygnus) . وفى سبيل حسم الأمر بالنسبة لوجود الثقب الأسود ، ينبغى أولا التاكيد تماما من أن الجسم المشع ليس بمتقزم أبيض أو نجم نتروني . ولا يمكن رؤية الجسم ذاته ، ولكن يمكن رصد وجوده عن طريق متابعة حركة قرينه . ويستند المياري الوحيد المتاح لأقصاء احتمال وجود مثل هذين الجسمين ، الى النماذج النظرية التى تستبعد أن تزيد كتلة أى منهما كثيرا على كتلة الشمس . ويمكن تقدير كتلة جسم ما عن طريق قياس حركة المنظومة الثنائية ، شريطة أن تكون كتلة النجم القرين العاى معروفة . ويمكن تقدير هذه الكتلة عن طريق قياس شدة اضاءة النجم ونوع الضوء المنبعث منه .

غير أن الأمر ليس بهذه البساطة ، فهناك عوامل كثيرة تعقد مثل هذه المسائل التقديرية ، وكل ما يمكن أن يقال حاليا هو أن ثمة احتمالا لوجود ثقب أسود فى برج الدجاجة .

٤ - ٥ العوالم المارقة للكم

سجل التاريخ فى مطلع هذا القرن حدثا جليلا حيث شهدت سنواته الأولى ثورتين عظميين - لا واحدة فقط - فى الفيزياء وبالتالى فى الفكر البشرى . فلقد جاءت نظريتا النسبية وأدخلتا تعديلات جوهرية على مفاهيمنا بشأن الخصائص الفيزيائية على النطاق الواسع ، أى تلك المتعلقة بالفضاء والزمان والمادة . وعلى التوازي مع تطور النسبية ، بدأت تتبلور نظرية أخرى روادها كثيرون ، وفى مقدمتهم ماكس بلانك (Max Planck) (ألماني ، ١٨٥٨ - ١٩٤٧) ونيلزبور (Niels Bohr) (دانمركى ، ١٨٨٥ - ١٩٦٢) وأروين شرودينجر (Erwin Schrodinger) (نمساوى ، ١٨٨٧ - ١٩٦١) وبول ديراك (Paul Dirac) (بريطانى ، ١٩٠٢ -) وماكس بورن (Max Born) (ألماني ، ١٨٨٢ - ١٩٧٠) . وفرتر هيسنبرج (Werner Heisenberg) (ألماني ١٩٠١ - ١٩٧٦) . وترسم هذه النظرية صورة جديدة وغريبة لمعالم وخصائص العالم الدقيق ، وهى صورة تعتبر من عدة زوايا بمثابة إعادة بناء للمفاهيم أعظم وأكثر اختلافا عما جاءت به نظرية النسبية . ولقد صارت هذه الرؤية الثورية

الجديدة للكون الدقيق تشكل اليوم قرعا ضخما فى الفيزياء الحديثة يعرف باسم ميكانيكا الكم Quantum Mechanics .

ومما يبحث على الأصف أن نظرية الكم تفوق كثيرا فى صعوبتها وتعقيدها نظرية النسبية ، وهى التى لا يستطيع الكثير من الناس ، بدون الخلفية الرياضية اللازمة ، فهم ما تنسم به من جمال وبراعة . ولا يحتمل نطاق هذا الكتاب الا أن تقدم الخطوط العريضة للسماة الأساسية لنظرية الكم . (ويسرك الكاتب تماما أنه فى محاولة تعميم هذا الموضوع فد لا تعكس بعض التعبيرات والتشبيهات كل مفاهيم علماء الكم ، بشكل دقيق . وينبى على القارى أن يكون حريصا فيما يمكن أن يذهب اليه من استنتاجات قد يستوحىها مما يتضمنه هذا الكتاب من وصف ، حيث ان الغرض الأساسى من الوصف هنا هو البيان والمساعدة على الفهم) . ويمثل جانب من صعوبة فهم نظرية الكم فى عدم وجود التصور الفيزيائى الدقيق المبنى على الأجسام المألوفة والمفاهيم المستمدة من الحياة اليومية . واذا كانت الساعة وآلات قياس الوقت وأجهزة القياس الأخرى والبنية الهندسية وغيرها مما ورد فى شرح نظرية النسبية ، تعد أشياء مرتبطة بشكل جذرى بالحياة اليومية ، فان التركيب الداخلى للذرة لا يحمل وجه شبه حقيقى مع الأشياء المتداولة فى حياتنا . فنحن نقول على سبيل المثال فى وصف البنية الذرية ان « الجسيمات تدور حول النواة » ، ويعطى مثل هذا الوصف الانطباع بأن الفارق الوحيد بين مسلك الذرة وأية منظومة ميكانيكية أخرى على المستوى المحسوس ، مثل كرات البلياردو ، هو فارق فى الحجم ، وهذه صورة زائفة تماما .

وكان قد تأكد فى مطلع القرن الحالى أن قوانين نيوتن للميكانيكا (وقانون النسبية الخاصة لاينشتين فيما يتعلق بموضوعنا) لا يمكن أن تصف بشكل سليم مسلك المنظومات الميكانيكية الدقيقة مثل الذرات . وصار واضحا أن القوانين الرياضية البسيطة التى تصف بدقة حركة كرات البلياردو لا يمكن أن تنطبق على هذا المجال الدقيق . وكان معروفا من واقع التجارب أن البنية الذرية لها خصائصها الذاتية المميزة من تناظر وانتظام ، ولذلك بدأت المساعى لايجاد نوع جديد من الوصف الرياضى يتماشى مع هذه الحقائق التجريبية . وفى منتصف العشرينات كان هذا الاطار الرياضى قد اكتمل وارتفع الى مستوى نظرية جديدة تماما للمادة تعرف باسم ميكانيكا الكم .

وكان نجاح النظرية الجديدة مدعشا . فقد وفرت منذ اللحظة الأولى لاستخدامها وصفا كليا دقيقا لما على : البنية الذرية وعمليات الاستطارة Scattering Processes ، وتكون الجزيئات والوصلات الكيميائية بين الذرات ، النشاط الاشعاعي والمسلك الداخلى للنواة الذرية ، التفاعل بين الموجات الكهرومغناطيسية مع المادة (مثل حالة التأثير الكهروضوئى) ، العديد من خصائص أنواع الجداد المختلفة والعديد من الظواهر العملية الأخرى . وبحلول الثلاثينات كان بول ديراك قد نجح فى دمج نظرية الكم مع نظرية النسبية الخاصة وافتتح باب جديد كامل فى علم الفيزياء .

وقد تضمنت الصفحات الأولى فى هذا الباب مثالا تقليديا للأسلوب العلمى فى العمل . وقد نجح ديراك من خلال نظريته الرياضية بشأن الجسيمات الدقيقة النسبية فى التكهّن بأشياء جديدة عديدة . وكان نموذج النذرة (الذى اتخذ شكله النهائى فى منتصف الثلاثينات) يقضى بوجود ثلاثة مكونات أو جسيمات « أساسية » هي البروتون والالكترون وانبثرون المحايد كهريا . واستطاع ديراك أن يثبت رياضيا باستخدام نظريته أن الالكترون على سبيل المثال يدور حول النواة بطريقة يستحيل أن تصادفها فى الأجسام المرئية العادية . وقد اتضح أن التأثيرات الناجمة عن هذا الدوران ما هي الا واحدة من السمات المعروفة جيدا فى المجال الطيفى الذرى . وأغرب من ذلك ، فقد اكتشف ديراك أيضا أن القانون الذى وضعه بشأن المادة ، علاوة على أنه ينطوى على حلول تصف بدقة حركة الالكترونات العادية والبروتونات والنبثرونات ، فانه ينطوى كذلك على حلول « عكسية » تصف فيما يبدو أنواعا جديدة تماما من الجسيمات . ولم تكن هناك أنواع أخرى من الجسيمات معروفة فى ذلك الحين . ومع ذلك فقد استخدم ديراك منطقا رائعا اقترح فيه وجود آلية يمكن أن تخلق فيها جسيمات « عكسية » ، وبحلول عام ١٩٣٦ كان قد تم اكتشاف أول نوع من هذه الجسيمات ، وكان هو الصورة العكسية للالكترون – أى جسيم له نفس الكتلة ولكنه يحمل شحنة كهربية معكوسة . وقد أطلق على الجسيم الجديد اسم بوزيترون (positron) وصار يمثل إثباتا رائعا لميكانيكا الكم النسبية التى وضعها ديراك .

وكان اكتشاف البوزيترون مجرد بداية فتحت الطريق لمزيد من الاكتشافات . ففي عام ١٩٣٥ تكهن الفيزيائى اليابانى هيديكى يوكاوا (Hideki Yukawa) استنادا الى احدى النظريات المتعلقة بالبنية النووية ، بوجود نوع آخر من الجسيمات له كتلة وسط بين الالكترون والبروتون ويسمى « الميزون » (meson) . وقد افاد أحد الأبحاث بوجود مثل هذا الجسيم ، وعرف باسم « المون » (muon) وقد تم الاهتمام اليه بالفعل

فى عام ١٩٣٧ • ولم يكنشف الميزون الذى ننبأ بوجوده يوكاوا ، الا بعد الحرب العالميه الثانيه ، وهو معروف الآن باسم « البيون » (Pion) وعلاوة على الميزونات ، أوحى النشاط الاشعاعى الباعث لاشعه بيتا بوجود نوع آخر غريب من الجسيمات يسمى « النوترينو » (neutrino) . ويتمثل وجه الغرابة فى أن هذا الجسيم ليس له كتلة أو شحنة كهربيه . وانما هو يدور بالأسلوب الغريب الذى وصفته نظرية ديراك • ويتسم التفاعل بين النوترينو والجسيمات الأخرى بأنه محدود للغاية - حتى انه من شأن معظم النوترينات أن تخترق الأرض وتعبرها بشكل مستقيم دون توقف •

ولو كان عدد أنواع الجسيمات قد ظل مقصورا على البروتون والنترون والالكترن والبوزيترون والميزون والنوترينو (وثمة نوعان منه) والفوتون (photon) - وهو « جسيم » كمى مرتبط بالموجات الكهرومغناطيسية - لبقى هناك بعض الأمل فى التوصل الى وصف للبنية الأولى من الجسيمات التى تتكون منها كل أنواع المادة • ولكن شهد تاريخ ما بعد الحرب اكتشاف المئات من الأنواع الجديدة من الجسيمات وبعضها لا يعيش الا للعبطة مارة (١٠ - ٢٤ ثانية على سبيل المثال) • ورغم أن بعض أوجه التناظر غير المتوقعة قد أضفت قدرا ضئيلا من النظام على فوضى هذه الكيانات الجديدة ، فليس هناك أى تأكيد بما اذا كانت كل هذه الجسيمات مبنية من مكونات أولية مشتركة أم انها غير محدودة فى عددها وأنواعها • ولقد أصبحت عملية البحث عن هذه الجسيمات الجديدة وتصنيفها تشكل صناعة كبرى تستثمر فيها أجهزة تصل قيمتها الى ملايين الجنيهات • وصار هذا المجال من الفيزياء النظرية والتجريبية يعرف باسم فيزياء الجسيمات الأولية • ويقوم حجر الأساس فى هذا الفرع من العلم على نظرية الكم النسبى الخاص •

ولكى نفهم كيف تتكون هذه الجسيمات الدققة فى هذه السلسلة المذهلة ، ينبغى أن نسترجع أن عملية التحول المتبادل بين الكتلة والطاقة محكومة بقانون أينشتين للنسبية الخاصة وهو ($E=mc^2$) • ولقد شرحنا فى الباب الثانى كيف أن الجسميم المتعاجل يكتسب كتلة نتيجة لهذا التحول • وثمة طريقة أخرى لتحويل الطاقة الى كتلة وتتمثل فى « تخليق » جسيمات مادية جديدة من الطاقة • ويمكن تغذية هذه العملية بالطاقة بطرق مختلفة • ومن الأساليب الشائعة فى هذا المجال أن يتم تنشيط الجسيمات الموجودة بالفعل ، بدرجة عالية بحيث تصطدم ببعضها باكبر قوة ممكنة • ولقد صارت هناك أجهزة تعاجل حديثة - كذلك الموجود

فى المركز الأوروبى للبحث النووى بجنيف - بوسعها أن تنتج بهذه الطريقة
أنهارا من الجسيمات المخلقة الجديدة من كافة الأنواع .

وقد اكتشف علماء الجسيمات الأولية من خلال هذا النوع من
التجارب أن كافة أنواع الجسيمات تخضع لقواعد معينة عندما تتحول
فيما بينها . وتتسم هذه القواعد بتحديد « بطاقات » خصائص
للجسيمات منها على سبيل المثال خاصيتا الشحنة الكهربية والدوران .
ولا يفق الأمر بالنسبة للبطاقات عند مجرد حد التمييز بين الجسيمات
المختلفة ، فهى تتسم عادة بصفة البقاء عندما تتغير الجسيمات سواء فى
اعدادها أو أنواعها . فهناك على سبيل المثال بطاقة تسمى « رقم باريون »
(Baryon number) يحملها النيوترون، ومن شأن هذه البطاقة أن تنتقل إلى
البروتون لو تحلل النيوترون إلى بروتون و إلكترون ونوترينو . وفى المقابل ،
فليس لدى الميزون رقم باريون وبالتالى ليس من الوارد أن تتحول
النيوترونات أو البروتونات إلى ميزونات ، ولم يحدث أن رصد أحد مثل
هذا التحول . علاوة على ذلك ، فعندما يخلق جسيم من الطاقة ، تقتضى
مسألة بقاء بطاقاته أن يخلق فى نفس الوقت جسيم آخر يحمل عددا مساويا
من البطاقات المعكوسة . وهذا يعنى أن الجسيمات تنتج فى ثنائيات .
فلا يمكن على سبيل المثال تخليق بوزيترون الا اذا تم فى الوقت ذاته
بحليق إلكترون قرين له (يتسم بشحنة كهربية وانجاء دوران عكسين) .

ويقتضى هذا الشرط ، شرط التناظر فى البطاقات أثناء عملية
التخليق (أو التدمير) ، أن يكون لكل جسيم مثيل « عكسى » له بطاقات
مماثلة فى العدد ومعكوسة فى الخصائص . ولا يقتصر ذلك على الإلكترون،
فلا بد أن يكون لكل من البروتون والنيوترون والميزون . . . الخ الجسيم
المضاد المناسب (antiparticle) . فلا يمكن على سبيل المثال تكوين
البروتون الا اذا كان بمصاحبة بروتون مضاد ، له شحنة كهربية سالبة
ورقم باريون . ويمكن من ناحية أخرى الجمع بين بروتون مضاد
وبوزيترون لتكوين ذرة هيدروجين مضادة . وتسمى المادة المكونة بهذه
الطريقة العكسية « المادة المضادة » (antimatter) . وعندما تلتقى
المادة والمادة المضادة فانهما تتلاشيان على التو وتتحولان مرة أخرى إلى
طاقة على هيئة فوتونات أشعة جاما على سبيل المثال . وبالتالى ليس من
شأن جسيمات المادة المضادة أن تبقى طويلا فى البيئة الأرضية المشبعة
بالمادة ، أو فى مجرتنا التى يبدو أنها مكونة كلها تقريبا من المادة . وليس
معروفا ما اذا كان الكون كله مكونا من المادة أم أن هناك بعض المجرات
المكونة من المادة المضادة .

والآن ، وبعد أن وصفنا بإيجاز شديد بعض النتائج التجريبية المترتبة على نظرية ميكانيكا الكم ، يجدر بنا أن نتحدث قليلا عما تتسم به النظرية ذاتها من طبيعة فريدة .

ولقد اُسِّمَت الميكانيكا التقليدية التي وضعها نيون بأنها تقوم على خاصية أساسية هي امكانية التنبؤ . وقد وضع نيوتن مجموعة من المعادلات الرياضية لوصف التطور الزمني بالنسبة للمنظومات الميكانيكية . فلو حدث من حيث المبدأ أن توافرت المعلومات الكافية بشأن حالة منظومة ، عند زمن معين ، يمكن حساب كل تاريخها الماضي والمستقبل بدقة كبيرة . وتمثل عملية التنبؤ بحالات خسوف الشمس مثلا جيدا لذلك . وتعد المنظومة المكونة من الأرض والشمس والقمر مسألة مباشرة يمكن حلها بدرجة تقريب جيدة باستخدام الميكانيكا النيوتونية لأن مجالات الجاذبية هنا ضعيفة والسرعات محدودة . وتتيح معرفة الحالة الراهنة لمنظومة الشمس حساب تواريخ كل حالات الخسوف الماضية والمستقبلية .

العالم اذن يعد ، وفقا للميكانيكا النيوتونية ، بمثابة ماكينة منتظمة ، وما يجرى فيه من أحداث غير متوقعة إنما هي بسبب عدم توافر المعلومات التي تكفل سبق الأحداث والتنبؤ بها تفصيليا .

وعند منطفئ القرن الحالي بدأ يشوب الميكانيكا النيوتونية بعض القصور ، حيث لم يكن من شأنها أن تصف بشكل سليم بعض الخصائص الأساسية للذرات وتفاعلاتها مع الاشعاع الكهرومغناطيسي . وقد أفسحت أوجه القصور هذه المجال لتولد المفاهيم الجديدة المتعلقة بميكانيكا الكم . ونبدأ ميكانيكا الكم باستبعاد احتمال وجود امكانية كاملة للتنبؤ في العالم أيا كان حجم المعلومات المتاحة . فبدلا من أن نعتبر أن الحالة الراهنة للكون تتطور بالضرورة صوب حالة مستقبلية محددة تماما (ونستحذر من حالة سابقة محددة تماما) تطرح ميكانيكا الكم عدة احتمالات لمعالات الكون في الماضي والمستقبل . وينبغي أن ننظر الى الحالة المستقبلية لأية منظومة طبيعية على أنها حالة مركبة من كافة الاحتمالات الممكنة . وبدلا من أن يكون هناك عالم مستقبلي واحد ، ثمة عدد هائل من الحالات المحتملة ، وكل من هذه الحالات يمكن أن يحدث أو لا يحدث وفقا لاحتمال محسوب محدد .

ومن ثم صار التنبؤ في الفيزياء ، شأنها في ذلك شأن الاقتصاد ، مسألة تتصل بعلم الاحصاء . وهناك آراء فلسفية كثيرة متباينة تختلف حول ما اذا كانت كل العوالم المحتملة موجودة على التوازي أم أن هذه العوالم تتتابع الواحد تلو الآخر بشكل عشوائي . وفي أي من الحالتين

يمكن للفيزيائي أن يحسب نسبة توقع شكل معين للمنظومة عند أية لحظة ، باستخدام قوانين الاحتمالات . ويمكن على سبيل المثال أن نحسب بشكل مباشر الاحتمالات النسبية لأن تكون نواة يورانيوم قد تحللت أم لا نتيجة انبعاث جسيم ألفا منها . فبعد مدة تقدر على سبيل المثال بألف عام سنجد أن هناك عالمين محتملين : عالم يظل فيه اليورانيوم سليما والآخر يتحلل فيه اليورانيوم . وتوفر نظرية ميكانيكا الكم أسلوبا رياضيا لحساب احتمالات حدود كل من البديلين .

ولو درسنا المكان - الزمان على المستوى الدقيق ، فسنجد أن عددا كبيرا من العوالم المختلفة من شأنه أن يظهر ويختفى مرة أخرى ، مثل صور الأشباح . ولما كان ظهور هذه العوالم لا يتم الا بشكل مارك ، فحني لو بدأنا من فراغ تام - مجرد عدم - فسنجد أنه في غضون فترة ضئيلة من الزمن ستنبعث جسيمات من كافة الأنواع ثم تخبو وتلتشى . وتتسم مدة بقاء هذه الجسيمات الشبحية بأنها قصيرة بدرجة مذهلة ، فالبروتون الشبحي على سبيل المثال لا يعيش الا لمدة 10^{-24} ثانية . وعلى أية حال ، لم يعد من الوازد أن نفكر في الفراغ كشيء خال تماما ، بل على العكس فإنه يوج بالآف الأنواع المختلفة من الجسيمات التي تتكون وتتفاعل وتختفى في بحر من النشاط لا يعرف الهدوء . وهذه هي الصورة التي ترسمها نظرية الكم للمكان - الزمان، صورة تعج بالتفاعلات والاضطرابات الضئيفة .

وليسست هذه الصورة الكمية مجرد نموذج نظري ، فهناك شواهد طبيعية حقيقية تحدث نتيجة هذا الفراغ المتقلب . فمن شأن وجود المواد الموصلة للكهرباء في المكان - الزمان على سبيل المثال أن يغير من شكل ذبذبة الفوتونات (وهي « جسيمات » الاشعاع الكهرومغناطيسي) بطريقة تؤدي الى تولد قوى في الموصلات تصل الى حد أنه يمكن قياسها .

ويأتى هذا المفهوم الكمي الجديد المثير للمكان - الزمان كنتيجة للمعج ميكانيكا الكم مع النسبية الخاصة . ومن المتوقع أن يسفر التضافر بين نظرية الكم والنسبية العامة عن تعديلات مذهلة أخرى في صورة المكان - الزمان .

ولقد بذل العلماء جهودا كثيرة خلال السنوات الأخيرة سعيا الى فهم طبيعة الجسيمات الأولية في المكان - الزمان المنحنى وفقا لنظرية النسبية العامة . ولم يكن من شأن التقدم البسيط الذي أحرزه العلماء في هذا المجال الا انه أكد كم أن الفكرة السائدة بشأن هذه الجسيمات متصلة

بشدة في المكان - الزمان في اطار النسبية الخاصة . ومع ذلك بعيد بعض الدراسات الحديثة في الاتحاد السوفيتي والولايات المتحدة بأن عملية تخليق جسيمات أولية في مجالات جاذبية شديدة قد تكتسب أهمية بالنسبة لمصائص الكون على النطاق الكبير . أما في نطاق الثقوب السوداء فيمكن البعض بأن مثل هذا التخليق للجسيمات قد يؤدي الى تبخرها تماما ، على نحو ما ذكرنا في القسم السابق .

ولو رجعنا الى مستوى أساسى أعم ، فسنجد أنه يمكن تطبيق نظرية ميكانيكا الكم على مجال الجاذبية ذاته ، أى يمكن اضافة صبغة الكم على المكان - الزمان . ويشكل هذا الموضوع منذ بضع سنوات مجالا واسعا ومثيرا يوج بالنشاط البحثي ، غير أن مسألتي التقنية الرياضية والمبادئ الحاكمة تكتسبان درجة فائقة من التعقيد والصعوبة . ولما كانت الجاذبية تتجلى في صورة بنية هندسية للمكان - الزمان ، تقتضى نظرية الكم للجاذبية التآليف بين عوالم ذات بنيات هندسية مختلفة . وينبغى أن يتم حساب البنية الهندسية المشهوده ، وفقا لنظرية الاحتمالات الاحصائية كالمعتاد . وينسم الفراغ ، كما سبق أن افترضنا ، بأنه يوج بالذبذبة ، ولكن في هذه الحالة فان البنية الهندسية هي التى تتذبذب . فعلى الصعيد الميكروسكوبى الدقيق سنجد العوالم الطيفية ، بما تتسم به من بنيات منحنية ومعوجة بدرجة عجيبة ، تظهر وتختفى ، تتكون وتتلشى في نشاط دائم . وتقيد بعض التقديرات بأن ذبذبة المكان - الزمان على النطاق الدقيق الفائق الذى لا يتجاوز ١٠-٢٢ سم (وهو ما يقل عن النواة الذرية بنسبة ١ الى ١٠٠ بليون بليون) ، من شأنها أن تكون كبيرة بدرجة قد نسفر عن حدوث تغيرات طبوغرافية . وهذا يعنى أنه من الوارد أن تنشأ في المكان عوالم شبحية تمتلئ « بالثقوب الدودية » و « الجسور » و « الأنفاق » ، تتكون ولا تلبث أن تنقبض بما يضاف على المكان - الزمان على هذا النطاق خصائص تبدو بها كنوع من الرغاوى أو الزبد . وفي مثل هذه المنطقة القريبة من الزبد والعوالم الشبحية تنقوض كافة التوقعات والتكهنات بشأن الانقباض الناجم عن الجاذبية والفذاذات . أى أن الصورة الكمية يمكن أن تقودنا الى أى شئ . وبما أنه ليست هناك نظرية ملائمة تحكم المسألة ، فليس ثمة اتفاق بشأن مدى الجدية التى يمكن أن تؤخذ بها هذه الصورة . وكل ما يمكن أن يقال في هذه المرحلة انه لا يمكن على الأرجح أن ينسحب مفهوم المكان - الزمان المتواصل ، على هذه المناطق متناهية الضالة .



شكل ٤ - ١٨

الشكل ٤ - ١٨ : انهيار المكان - الزمان . يقول جون ويلر ان تأثيرات الكم على النطاق الميكروسكوبى الدقيق ، يتسم بدرجة من العلف حتى انها تبدأ فى تمزيق المكان - الزمان كليا ، بما يحوله الى بنية اسفنجية مليئة باللغوب الدويرة والجسور والانفاق . ومن شأن هذا النشاط العنيف أن يجرى بشكل غير ملحوظ تماما بالنسبة للجسيمات دون الذرية : ن هذه الجسيمات تبدو فى حجمها بالنسبة لهذه العوالم كحجم الشمس بالنسبة للكرة !

ويعمد الفيزيائى الأمريكى جون ويلر John A. Wheeler من العلماء البارزين فى هذا المجال الذى أطلق عليه اسم « ديناميكا الكم الهندسية » . ويشير ويلر الى أن طاقة كل هذه الذبذبات وهذا النشاط العنيف نصل فى ضخامتها الى حد أن وجود جسيم حقيقى فى هذا المكان يعد بمثابة سحابة بالنسبة لديناميكا الهواء . وتبعث هذه الفكرة عن المكان - الزمان والمادة على أن نرى عالما بعيدا تماما عن عالم لايبنتيز وماخ ، اللذين حاولا بناء المكان والزمان من المادة ، فان نظرية الكم الحديثة تسند الى مكانة الزمان ذاته الدور الرئيسى ، أما المادة ، فما هى الا مجرد عامل خلل فى البنية الأساسية . وانه لضرب من العته أن نتصور أن القصة تنتهى عند هذا الحد . فلا شك أنه سيأتى الوقت الذى ستظهر فيه نظرية جديدة تجمع بين المكان - الزمان ونظرية الكم بشكل أكثر عمقا وسيظهر مفهوم جديد تماما بشأن المكان - الزمان . أما فى الوقت الراهن ، فينبغى على القارئ أن يكفى بأن يعتبر نظريتي النسبية والكم مجرد نظرة خاطفة على اثنين من الجوانب المثيرة العديدة للواقع الحقيقى .

٤ - ٦ الوضع الحالي للنظرية العلمية

ولما كانت معظم المناقشة في هذا الباب قد انصبت على نظرية النسبية العامة ، فمن المناسب أن ننهي ببعض الكلمات عن وضعها الحالي كنظرية علمية . فلقد حظت هذه النظرية طويلا بقبول عام من جانب علماء الفيزياء بوصفها أفضل وصف متاح للمكان - الزمان والمجاذبية . وينبع هذا القبول في جانب كبير منه ، من الجمال الحقيقي والبراعة والأناقة التي تنسم بها النظرية في وصف الطبيعة . ولكن يبعث على الأسف أن هذه الأناقة لا تنسحب على معظم تطبيقات النظرية حيث أن المشكلات التقنية والطبيعة الرياضية المعقدة تجعل حتى أبسط المنظومات تبدو مسائل مستعصية تماما على الحل . ويرجع جانب من الصعوبة إلى أن الجاذبية تعتبر نوعا من الطاقة ، وتعد بذلك هي مصدر ذاتها . ولو تحدثنا بلغة الرياضيات ، فإن ذلك يتجلى في عدم خطية المعادلات المستمدة من النظرية ، ونعني بذلك أن مجموع تأثيرات الجاذبية لا يمانئ تأثير مجموع الجاذبية . فلا يستطيع المرء أن يجمع ببساطة الحلول المعروفة للمنظومات البسيطة ليحصل على الحل الجلي لمنظومة معقدة . ونتيجة لهذه المشكلات التقنية فإن المحتوى الحقيقي لهذه النظرية مازال في طور الاكتشاف ، حتى بعد أكثر من ٦٠ عاما .

وعلى الصعيد العملي فإن الإثباتات التجريبية للنظرية ضعيفة للغاية ولا تضاهي مطلقا ما تحقق بالنسبة للنظرية الخاصة . فإلى جانب التأثير على مسار كوكب عطارد والزحزحة الحمراء للضوء ، أجريت تجارب لقياس اعوجاج أشعة الضوء نتيجة الانحناء حول الشمس ، وهناك قدر معقول من التوافق ، رغم أن التجربة تشتمل على عوامل إضافية معقدة . وثمة عدد كبير من النظريات البديلة بشأن الجاذبية ، غير أن المعطيات التجريبية تبعث بصفة عامة على استبعاد كل هذه النظريات البديلة تقريبا ، وعلاوة على أنها هزيلة ، ليس منها ما يقارب نظرية آينشتاين من الناحية الجمالية .

أما في مجال الكم فهناك بعض البراهين البارزة التي تتماشى مع النسبية العامة مثل الحد غير الكمي الصحيح . وإن مجرد التفكير في المبادئ الأولية لنظرية الكم في المجالات ، ليقود بشكل شبه مطلق ومنفرد إلى مبدأ التكافؤ ، وإلى خصائص التحول في البنية الهندسية وإلى عدم خطية الجاذبية . غير أن استمرار الفشل في إيجاد صورة سليمة للتزاوج

بين نظرية الكم والنسبية العامة قد أدى الى تراكم الآراء التى تقول بأن
نظرية اينشتين تتسم بالخطأ عند التطبيق فى مجال الكم . وليس من
الواضح حتى الآن ما اذا كان سيطراً تعديل على النظرية الحالية بما يؤدى
الى انجاح تزاوجها مع نظرية الكم أم ستظهر بنىات جديدة لمراحل تسبق
الكم وتسبق المكان - الزمان .

الباب الخامس
علم الكونيات سے الحديث

ولا يكتمل تحليل المكان والزمان بدون دراستهما في شموليتهما -
ويعد الكون هو الهيئة الشاملة للمكان ، وتاريخه هو الصورة الشاملة
للزمان . فإذا يمكن أن يقال بشأن بنية الكون وحياته ، وعن مولده
وفنائه ؟

ويبحث على الدهشة في بعض الأحيان إلا يكون من شأن العلم أن
يسبهم بأى شكل فى موضوعات مثل نشأة كل شىء ونهايته . وعادة ما تعتبر
هذه الأمور من اختصاص الدين أو الفلسفة ، وكان هذا بالفعل هو مكانها
على مدى تاريخ البشرية . وكثيراً ما يوجه سؤال إلى العلماء هو : هل أنتم
« مؤمنون » بهذه الموضوعات ؟ ولا يتطوّر مثل هذا السؤال على تقدير
لما أحرز على مدى السنوات الأخيرة من تقدم هائل فى فهم طبيعة الكون
وتطوره بشكل شامل . ولم يعد العلماء بحاجة لأن يكون لديهم إيمان
بشأن مسائل مثل متى نشأ الكون وبأية صورة (وقد تكون لديهم معتقدات
دينية) ، فلقد صار الأمر الآن يتجسّد فى استخدام الأجهزة العلمية
« لرؤية » الصورة التى يبدو عليها الكون وكيفية تطوره . ولم تعد مثل
هذه الموضوعات الفلسفية الكبرى تناقش بصفقتها من أركان الإيمان ولكن
بصفقتها وقائع تحكمها نظريات مثلما يحدث فى أى فرع آخر من فروع
العلم . صحيح أن كثيراً من المفاهيم الحالية للأمور الكونية تنسم بأنها
بدائية وتقبل الصواب أو الخطأ ، ولكن بالتأكيد سيشهد المستقبل ثورة
كبيرة فى الصورة المقبولة حالياً للكون . وعلى أية حال ، يجدر أن نشير
إلى أننا نتحدث هنا عن العلم والقيم العلمية ، ولو كان من شأن آراء رجال
الدين أو الفلاسفة أن تبرز بعض المفاهيم الفردية الخاصة بشأن الكون .
فإن المواضيع التى نتحدث عنها فى هذا الكتاب تقوم بشكل بحث على
المعلومات المستقاة من المشاهدات الفعلية وعلى الجدل الذى يندلع بشأن
تفسيراتها النظرية .

وقد يكون من الملائم أن نبدا بوصف عام لبنية الكون على نحو ما هو مفهوم حاليا . وربما كان أبرز سمات الكون وأكثرها وضوحا هو الفراغ ، فالكون كله تقريبا عبارة عن فضاء فراغ . ولا شك أن هذه المقولة ليست صحيحة بشكل مطلق . فبفض النظر عن اعتبارات الكم التي تطرقت اليها في نهاية الباب السابق ، لا يخلو الأمر مطلقا من قدر ما من الإشعاعات والفزات الشاردة المتخلفة من الصلبيات الكونية . ولكن سعيًا الى تيسير الأمر سنفترض أن المحتويات المادية في الكون تفصل بينها مساحات سحيقة من الفضاء .

وتوجد معظم المادة الضوئية على هيئة نجوم . وتشسبه النجوم شمسنًا ، رغم أن أحجامها واللوانها وتركيباتها وتطوراتها قد تختلف اختلافًا كبيرًا . وتتجمع النجوم ، علاوة على بعض الغبار والغزازات (وأجسام أخرى) ، على هيئة مجموعات عملاقة تسمى المجرات . وتحتوى مجرة نطية مثل مجرتنا على نحو مائة بليون نجم (أى نفس عدد الخلايا في المخ البشرى) وتصل المسافة بين أطرافها الى زهاء ٥٠ ألف سنة ضوئية .

واذا كانت المجرة تعد ضخمة بشكل منحل وفقا للمقاييس البشرية ، فهي تعد شيئًا لا يذكر في ضآلتها بالمقياس الكوني . وتنتشر المجرات في الكون بشكل ما بطريقة عشوائية ، فيما عدا أنها عادة ما تتجمع في مجموعات صغيرة . وتشكل هذه المجموعات من المجرات « ذرات » الكون . وأى قول بشأن الكون سيكون على هذا المقياس على الأقل ، وأيا كانت هائلة أنشطة المجرات الفردية ، فنادرًا ما يكون لها وقع يذكر على المستوى الكوني .

وقد يساعد القارئ في تصور هذه الضخامة المذهلة أن يربط بين هذا البيان الكوني وبين ما يراه في السماء ليلا . فبفض النظر عن الشمس والقمر تعد الكواكب القريبة هي أسطح أجسام مستديرة في السماء ، وهي تنتمى الى مجموعة مكونة من تسعة عوالم ، من بينها الأرض ، تدور حول الشمس (التى يصل نصف قطرها الى ٧٠٠ ألف كم - أى تزيد في حجمها على مائة مثل الأرض) على مسافات تصل الى بضعة بلايين من الكيلو مترات . وتسمى هذه المجموعة من الكواكب ، علاوة على الشمس ، بالمجموعة الشمسية . ورغم أن الكواكب تشبه النجوم في شكلها فانها تقل عنها بشكل فائق من حيث الضخامة وشدة الاضاءة . ولولا أن هذه الكواكب تمكس ضوء الشمس ، ولولا أنها قريبة من الأرض بدرجة تجعل هذا الانعكاس يبدو ساطعًا ، لما رأيناها . ومع ذلك ، فحتى لو تقل أضخم

تلسكوب الى اقرب نجم فلن يكون من شأنه أن يرصد هذا القرين الضعيف
للسمس .

وفى المقابل تعتبر النجوم ذاتها شمساً ضخمة متوهجة ، تقع على
درجة من البعد بالمقارنة مع الكواكب بحيث انه ، رغم أنها تسطع ببريق
يفوق بملايين المرات ضوء الكواكب ، فهي تبدو أضعف منها . ومن المرجح
أن تكون لمظم النجوم الأخرى مجموعات من الكواكب المماثلة لمجموعتنا
الشمسية . وقد تحدثنا قليلا فى الباب الرابع عن بنية النجوم وتطورها .

وما النجوم المرئية بشكل فردى فى ليل السماء الا مجرد الأعضاء
القرينين فى مجرتنا . ولا تظهر معظم المجرة فى إعيننا على الأرض الا على
هيئة شريحة من الضباب المضيء تتوسط السماء بشكل عرضي ، وتعرف
باسم درب التبانة Milky Way . ولو استخدمنا تلسكوبات متوسطة
القدرة فسوف يظهر درب التبانة على هيئة أعداد لا تحصى ولا تعد من
النجوم المستقلة . ويقع مركز المجرة فى اتجاه برج القوس Sagittarius
(ولكن الى أبعد منه كثيراً) .

أما المجرات الأخرى ، فلا يمكن مطلقاً رؤيتها بالعين المجردة ، وان
كان من الوازد أن نرصد حفنة ضئيلة منها لو استخدمنا نظارات ميدان
قوية . ورغم ما تتسم به مجرة أندروميديا Andromeda من ضخامة وقرب
من الأرض (حيث لا تبعد الا بمقدار مليون ونصف المليون من السنوات
الضوئية) ، فهي لا تبدو فى عيني شخص حاد البصر الا على هيئة بقعة
هزيلة فى برج أندروميديا . وبوسع التلسكوبات الحديثة أن ترصد مئات
الملايين من المجرات الأخرى . وتتباين أشكال المجرات فيما بينها بشكل
كبير ، ولكن من الأشكال المهيمنة الجميلة ذلك الذى يتجسد فى هيئة قرص
رقيق نسبياً يتوسطه جزء منتفخ وتخرج منه أذرع حلزونية كمجلة النار .
وتتنمى مجرة أندروميديا ومجرتنا لهذا النوع الحلزونى . وتقع المجموعة
الشمسية فى مجرتنا فى واحد من هذه الأذرع الحلزونية على نحو ثلثي
المسافة من مركز المجرة .

وينبغى علينا أن نتذكر دائماً أننا عندما ننظر الى الكون لانرى المجرات
على هيئتها الحالية ولكن على الهيئة التى كانت عليها فى الماضى البعيد .
ويعزى ذلك الى أن الضوء المنبعث منها يقطع ملايين الملايين من الكيلو مترات
ليصل إلينا ، وقد تستغرق هذه الرحلة ملايين السنين ، فالضوء الصادر
من مجرة أندروميديا « القريبة » يصل إلينا بعد مرور مليون ونصف المليون

من السنين . وترصد التلسكوبات الضخمة مجرات يبلغ من بعدها أنها تبدو على الهيئة التي كانت عليها قبل بلايين السنين !

ورغم أن قدرة التلسكوبات الضخمة لا تسمح الا برصد المجرات ، فهناك بلا شك بعض الأجسام في هذه المساحات السوداء الشاسعة التي تفصل بينها ، ولكن كم هو عددها وما هي طبيعتها ، فتلك مسائل مازالت في حيز التكهينات . علاوة على ذلك ، يتخلل الكون أنواع عديدة من الاشعاعات والجسيمات ، من بينها الاشعاعات الكهرومغناطيسية واشعاعات الجاذبية والنيوترينات والاشعة الكونية (المؤلفة من مجموعة من الأنواع المختلفة من الجسيمات دون الذرية) .

ويجدد بنا ، بعد أن ذكرنا الخطوط العريضة لتوزيع المادة في الكون ، أن نحدث قليلا عما تتكون منه المادة . وتتألف المادة كلها من ذرات . وتشتمل الأرض على زهاء ٩٠ نوعا طبيعيا من الذرات ، علاوة على بعض الأنواع الجديدة المخلقة اصطناعيا . وتسمى المادة المكونة كلها من نوع واحد من الذرات « عنصرا » ومن شأن ذرات معظم العناصر أن تتحد جميعها مع ذرات أخرى من العناصر ذاتها أو عناصر مختلفة لتكون الجزيئات . وتدخل القواعد الدقيقة التي تحكم مثل هذا الاتحاد ، في نطاق علم الكيمياء . وتتكون المادة كلها بضمي صورها ، من الماس الى الهواء ومن الانسان الى النجوم ، من أنواع مختلفة من التآلفات بين هذه العناصر الأساسية نفسها . ويمد الهيدروجين أبسط عنصر في الكون ، وتتكون ذراته من مجرد جسيين هما الالكترون والبروتون . ويلى الهيدروجين من حيث بساطة التركيب الهليوم ، وهو يتكون من ستة جسيمات موزعة كالتالي : بروتونان ونيوترونان متحدة مع بعضها وتكون النواة ، والكترونان يدوران حول النواة تحت تأثير الجاذبية الكهربية . أما أعقد العناصر الطبيعية الشائعة فهو اليورانيوم ، وهو يحتوى على ٩٢ بروتونا ونحو ١٤٠ نوترونا في النواة فضلا عن ٩٢ الكترونا في حالة دوران حولها .

وتعزى أوجه الاختلاف الرئيسية بين الذرات الى تباين عدد البروتونات في النويات . ولقد صارت كل أنواع الذرات - من الذرة التي تشتمل على بروتون واحد الى تلك التي تحتوى على ٩٢ بروتونا - معروفة لدينا ، غير أن بعضها ، مثل الحديد ، يعد شائعا بدرجة كبيرة بينما يتسم البعض الآخر ، مثل التكنيتيوم ، بالندرة الشديدة . أما العناصر التي تحتوى على أكثر من ٩٢ بروتونا ، والتي تم تخليقها اصطناعيا

(مثل النبتونيوم والبلوتونيوم) ، فهي عناصر مستقرة (مشعة)
وتتحلل بسهولة ، ولذلك لا نجدها تتكون بشكل طبيعي على الأرض .

وتفيد الدراسات الطيفية للأجسام الفلكية باحتوائها على هذه
العناصر ذاتها . ولقد عرف بوجود الهليوم في الشمس قبل اكتشافه في
الأرض . غير أن نسب شيوع العناصر في الأرض تختلف تماما عنها في
الكون . وتشير التقديرات الى أن ٩٠٪ تقريبا من الذرات الموجودة في
الكون هي ذرات هيدروجين . ويشغل الهليوم معظم الجزء المتبقى .
أما الذرات الثقيلة ، واسعة الانتشار في الأرض ، فهي لا تشكل سوى
نسبة محدودة للغاية من اجمالي العناصر . ويتضح من ذلك أنه كان هناك
عامل انتقاء قوى وفعال عند تكون الأرض .

ويعد التناقص السريع في درجة شيوع العناصر مع زيادة وزن
الجسم الفلكي مؤشرا قويا على أن الكون بدأ بدون ذرات معقدة ، وأنه
كانت هناك « آلية تجميع » تعمل على بناء العناصر المعقدة من العناصر
الأخف والأبسط ، مثل الهيدروجين . أما عن أين يقع مصنع بناء العناصر
هذا ، فتلك مسألة سنتناولها في حينها ، فلقد اتضح أنها على أكبر درجة
من الصلة مع علم التناظر الزمني في الكون . وفيما يتعلق بالسؤال
القاتل : من أين جاء الهيدروجين في الأصل ؟ فهذا موضوع ما زال قيد
البحث وستتناوله بالتفصيل في القسم ٦ - ١ .

ولا شك أن أهم سمة يتصف بها الكون هي تلك الدرجة البالغة من
الانتظام . ويتجلى ذلك من زاويتين متباينتين . وتمثل الزاوية الأولى في
أن البنيات التفصيلية للنجوم والمجرات البعيدة ، وقوانين الفيزياء التي
تخضع لها ، والكميات الناشئة من الطبيعة (مثل الشحنة الكهربائية التي
يحملها الالكترون) ، تبدو كلها ، وبدرجة دقة كبيرة ، تماثل تلك التي
نلمسها في الجوار القريب لنا من الكون ، وفي الأرض بالطبع . ومن
شان مجرة نبطية تقع على بعد مئات الملايين من السنين الضوئية من الأرض
أن تبدو على درجة كبيرة من التماثل مع مجرتنا . ويماثل التحليل الطيفي
لذرات مثل هذه المجرة ، وبالتالي الكيمياء والفيزياء الذرية فيها ، الحالة
الكائنة على الأرض . ويكفل هذا العامل وحده منح ثقة كبيرة في تطبيق
قوانين الفيزياء المكتشفة في المعمل ، على المستوى الرحب في الكون .

أما السمة الثانية للانتظام الكوني فهي تتعلق بتوزيع المادة -
ويتبين من الوصف الذي أوردناه تولا للكون أن هذا التوزيع يتسم بنزعة
كبيرة الى التجميع . فالمادة تتركب في هيئة النجوم ، والنجوم تتجمع في
شكل مجموعات تصل الى حجم المجرات . والمجرات أيضا تتألف في صورة

جزر مجرية • ويعتقد بعض علماء الفلك أن هذه التجمعات تتصاعد بشكل لا نهائي ، وكلما علا مستوى التجمع ازدادت رقعة الفضاء التي تفصل بين هذه التجمعات غير أن بعض الشواهد التي تتماشى بدرجة مقبولة مع المنطق ، تبعت على الاعتقاد بصفة عامة بأن عملية التجمع تتوقف عند حد الجزر المجرية ، أما التوزيع على النطاق الأوسع في الكون فيتسم بأنه بالخط العشوائية • ويتصف التوزيع حتى مستوى الجزر المجرية بأنه متجانس (أى متماثل في كافة المناطق) ومتناظر (أى متماثل في كافة الاتجاهات) • وكون البنية الكونية على النطاق الواسع تتسم بهذه الدرجة من البساطة ، لا يشكل مظهرا جماليا فحسب ، ولكنه يتلاءم بدرجة قصوى مع الجانب النظري ، حيث أنه يتيح بناء النماذج الرياضية للكون بأقل قدر ممكن من التعقيد التقني • علاوة على ذلك ، فهذه البنية تتفق مع الفلسفة الحديثة ، التي ظهرت بعد عهد كوبرنيكوس ، والتي تفيد بأنه ليس للأرض أى وضع مميز في الكون • وكان الأوربيون قبل عهد كوبرنيكوس يعتقدون أن الأرض تقع في مركز الكون ، وأن كل الأجسام السماوية تدور حولها • وقد أسدل اكتشاف كوبرنيكوس أن الأرض تدور حول الشمس ، الستار إلى الأبد على هذا الوهم • وقد خفت في الآونة الأخيرة حدة من يصفون بالدعة والردة الافتراض القائل بأن منطقنا ما هي الا منطقة نطية عادية في الكون • ولم تعد الظروف الطبيعية في المحيط المجاور لنا تكتسي أية خصوصية ، بل أصبحت نمطا لأي مكان عادي في الكون • وقد تبدو أرضنا وشمسنا ومجرتنا على درجة قصوى من الاهمية بالنسبة للبشر ، ولكن على الصعيد الكوني الشامل فهي لا تمثل شيئا يذكر بالمرّة •

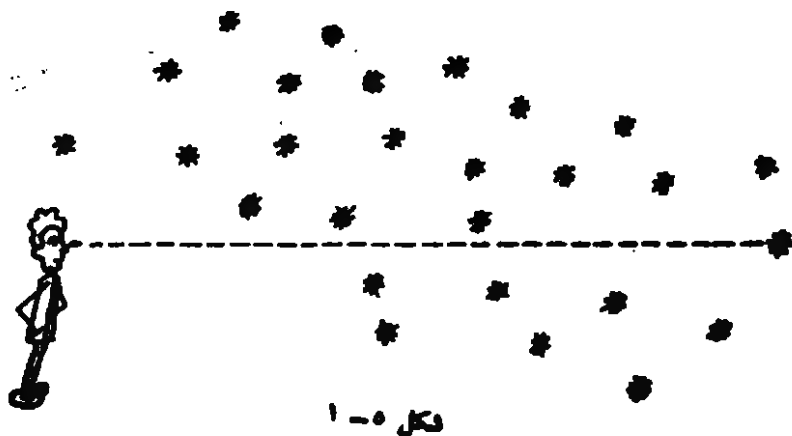
ولقد صاد الافتراض بأن الكون على النطاق الواسع يتسم بالانتظام، مقبولا لدى معظم علماء الكونيات (وليس كلهم) وأصبح معروفا باسم المبدأ الكوني • ولو تطرفنا بهذه الفلسفة ، فسوف يقودنا ذلك إلى التكهن بأن الأمر لا يقتصر على مجرد كون منطقتنا جزءا نطيا في الكون ، وانما تتمدى المسألة إلى حد اعتبار العصر الحالي كله زمنا نطيا • وهذا يعنى على النطاق الأرحب أنه حيثما فحص الكون فسيبدو دائما أبدا على هيئته نفسها بصورة أو بأخرى •

وكانت صورة الكون وفقا لهذه الخطوط مقبولة على نطاق واسع لدى علماء الفلك منذ قرن من الزمان • وكانوا على اقتناع بأن النجوم في حالة توهج مستمر وبأنها موزعة بشكل منتظم في فضاء لا نهائي •

غير أن هذا النموذج الباعث على الرهبة والمجذب فى الوقت ذاته ، كان له عدد من العيوب الخطيرة • وكان واحد من هذه العيوب هو ما عرف بعد ذلك باسم تناقض أولبرز نسبة الى عالم الفلك الألماني هنريش أولبرز Heinrich Olbers (١٧٥٨ - ١٨٤٠) • ويتمثل هذا الميب فيما يبدو من تناقض بين كون مستقر وممتد بشكل لا نهائى ، وبين الظلمة التى تكتنف السماء ليلا • وقد يكون ضربا من الحماقة أن نسال لماذا تكون السماء مظلمة فى الليل ، ولكن فى اطار هذا النموذج للكون فان هذه المسألة تمثل مشكلة حقيقية • وتطرح الفيزياء الحديثة هذه المسألة بشكل أفضل باستخدام لغة الديناميكا الحرارية • ويقضى هذا العلم بأن سماء مظلمة ينبغى أن تكون سماء باردة ، وهذا يعنى أن درجة حرارة الكون فى المتوسط لابد أن تكون منخفضة للغاية (وهى فى الواقع تساوى نحو ثلاث درجات فوق الصفر المطلق) • وفى المقابل تتسم النجوم، من مثل الشمس ، بأنها ساخنة بشكل فائق ، حيث تبلغ الحرارة على سطحها آلاف الدرجات بينما قد تصل فى جوفها الى مئات الملايين من الدرجات • وقد نتساءل ببساطة : لماذا اذن لم تتسبب النجوم فى رفع درجة حرارة الكون حتى الآن ؟ كيف يتسنى أن يكون الكون مستقرا وفى الوقت ذاته فى حالة عدم توازن مستديمة من حيث لديناميكا الحرارية ؟ ولو كانت هناك اشعاعات تنبعث باستمرار من النجوم لصار الكون مكانا ساخنا للغاية وامتلا ليل السماء باشعاعات تصل الحرارة فيها الى آلاف الدرجات • ولو كان الأمر كذلك لتبخرنا على الفور •

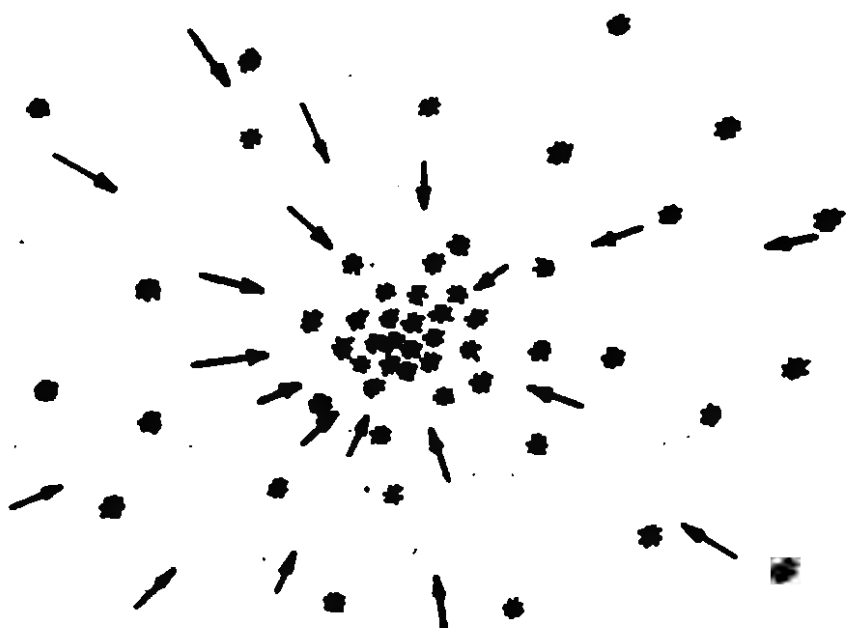
ولم يكن علم الديناميكا الحرارية منذ قرن مضى متطورا ، ولذلك عبر أولبرز عن هذا التناقض باستخدام نظرية البصريات • ويتسم المنطق الذى طرح به هذا التناقض بالبساطة، حيث قال انه لو كان الكون فسيحا بدرجة لا نهائية ، ولا يتغير مع الزمن ، ويمتلئ بالنجوم الساطعة بشكل مستديم والموزعة بانتظام ، فainما يقع نظر المرء فى السماء لابد أن يرى نجما ، وبالتالى لن يكون ثمة مجال لوجود جزء مظلم فى ليل السماء ، وأى اتجاه يتحول اليه البصر لابد وأن يسطع بشدة بريق واحد من النجوم •

وليس من العسير التفكير فى عدد من الحلول لهذا التناقض • فلو أن النجوم على سبيل المثال ليست منتشرة على امتداد لا نهائى ولكنها مجمعة بدلا من ذلك فى فقاعة ضخمة تقع فى صورة أخرى من الفضاء الفراغ اللانهائى ، فسوف يكون من شأن كل الفاضل من الاشعاعات أن يتدفق للخارج فى هذا الفضاء ، لو اعتبرنا أنه لن يتجه أى منها



الغلاف ٥ - ١ : تناقض اولبرز - لو كانت النجوم منتشرة في الفضاء بلا نهاية وبكثافة منتظمة فسوف يصطبم خط البصر ، أينما اتجه ، بواحد من هذه النجوم . وإن يكون هناك مجال لوجود أية منطقة مظلمة في السماء . وتجدر الملاحظة بأنه رغم أن النجوم البعيدة تبدو أضعف بريقاً فإلها تظهر أيضاً أقل حجماً بنفس النسبة . ومن شأن كل نجم بالتالي أن يضيء المنطقة المحيطة به بنفس شدة النور . ولما كان عدد النجوم البعيدة يفوق كثيراً عدد تلك القريبة فإن نسبة المساحة الإجمالية من السماء التي تحتلها كل النجوم عند مسافة معينة لن تزلهم بهذه المسافة . وبالتالي لو كانت قوة إبصارنا تسمح بأن نرى مسافات بعيدة بدرجة كافية لرأينا السماء كلها مغطاة تماماً بالنجوم . لماذا إذن تبدو السماء مظلمة في الليل ؟

للدخل . وبالطبع لم يكن ذلك هو النموذج الذي دار في خلد كوبرنيكوس ، لأن النجوم بالقرب من حافة الفقاعة ستكون في وضع خاص وليس في وضع نمطي عادي (حيث أنها ستواجه الفضاء الفارغ في اتجاه واحد فقط) . وينبغي في هذه الحالة أن نعتبر أن وجودنا بالقرب من مركز الفقاعة ، وهو ما يقتضيه هذا المنطق ، إنما هو من قبيل الصدفة . وكان نيوتن قد أشار قبل ذلك إلى وجه اعتراض آخر أكثر أهمية . فمن شأن قوة الجاذبية أن تشد النجوم إلى بعضها . ولو كان لفقاعة النجوم حافة فلا بد أن يكون لها جوف ، وبالتالي سوف يكون من شأن النجوم أن تسقط كلها في هذا الجوف . وما دام ذلك لم يحدث ، فلا بد أن تكون النجوم منتشرة على امتداد لا نهائي .



الشكل ٥ - ٢ : الكوكبية الكونية . لو كان الكون محدودا لصار له جوف ولكان من شأنه أن يسقط داخل هذا الجوف تحت تأثير جاذبية النجوم . ولقد كتب اسحق نيوتن في سنة ١٦٩٢ يقول ان من شأن مثل هذا الكون أن يسقط في وسط المكان وان يكون كتلة كرية واحدة ضخمة اما لو كانت المادة منتشرة بشكل منتظم خلال فضاء لا نهائي ... فسوف يتجمع بعض منها في كتلة ... وبعض آخر في كتلة أخرى وهم جرا ... وقد يكون هذا هو الصلوب الذي تكونت به الشمس والنجوم .

وثمة حل آخر لتناقض أولبرز يختلف تماما عن سواء ، وقد جاء نتيجة ملحوظة طرحها بولتزمان حيث قال ان عدم التوازن الحالي في الديناميكا الحرارية للكون نجم عن ذبذبة طارئة هائلة (دورة بوانكاريه - انظر القسم ٣ - ٣) من ذلك النوع الذي يتكرر كل ٨٠١٠ سنة ! وعلى مدى هذا الزمن ، يحدث بين الحين والحين أن تتدفق تلقائيا كل الحرارة الموجودة في الكون الى داخل النجوم وترفع حرارتها الى ملايين الدرجات . أما ما نراه الآن فهو عملية ابطال ذاتي لمفعول تلك الذبذبة وإعادة النجوم الى حالة التوازن مع الفضاء . والتبرير المستمد من هذه الرواية لظلمة السماء في الليل هو ببساطة أن كل الحرارة قد تدفقت الى داخل النجوم في توافق تام . وأما لماذا وقع الاختيار على الجنس البشري ليشهد هذا الحدث بالغ الندرة ، فهو على وجه التحديد لأن الكائنات الحية - بما فيها علماء الكونيات - تحتاج عدم التوازن هذا (وجود ضوء الشمس على سبيل المثال) لتميش .

والواقع انه لا يمكن اخذ فكرة بولتزمان بأخذ الجد . فليس ثمة سبب يفسر لماذا ينبغي أن تتذبذب كل مناطق الكون مما من أجل اقامة الحياة على الأرض . ولو كان علم التوازن قد حدث بهذا الأسلوب ، لكان من المستبعد تماما أن يظهر الميكروسكوب نجوما براقه ساطعة أيضا على مسافات شحيقة من الكون . والواقع أن احتمال وقوع مثل هذه الذبذبة الكونية يقل بدرجة فائقة عنه بالنسبة لأية ذبذبة محلية .

وما كان الحل السليم لنفاقض أولبرز ليخطر على بال أحد من علماء الفلك في القرن التاسع عشر . وقد استوجب الأمر انتظار وصول التلسكوب ذى القطر البالغ مائة بوصة ، الى مرصد جبل ولسون بالولايات المتحدة ، والتوصل الى اكتشاف جوهرى يوازي اكتشاف كوبرنيكوس ، لحل هذا اللغز .

٥ - ٢ الكون المتمدد

وفي عام ١٩٢٩ أعلن عالم الفلك الأمريكى ادوين هوبل Edwin Hubble (١٨٨٩ - ١٩٥٣) بعض النتائج المستمدة من قياسات أجراها على الضوء الوارد من مجرات بعيدة . وبفحص التردد فى التوزيع الطيفي لضوء هذه النجوم البعيدة تبين أن خطوط الطيف مزاحة صوب اللون الأحمر (وهو طرف التردد الضوئى الضعيف فى التوزيع الطيفي) . وقد اكتشف هوبل أن هذه الازاحة الحمراء تتزايد بنسبة طردية مع بعد المجرة . وقد شرحنا فى الباب الثانى كيف يمكن أن تحدث ازاحة للتردد الضوئى نتيجة تباعد مصدر الضوء (تأثير دوبلر على سبيل المثال) . ومن الواضح أن المجرات الواقعة على مسافات كبيرة تبتعد عنا فى اطار نظام معين للحركة الكونية ، وكلما كانت المسافات أكبر كان الابتعاد أسرع . والنتيجة التى لا بدبل لها اذن هي أن الكون يمتد . وكان من نتيجة هذا الاكتشاف غير المتوقع بالمرة أن غير طبيعة موضوع علم الكونيات برمتها . فان كونا ممتددا يعنى انه كون متغير وبالتالي له تاريخ ، بل وقد تكون له بداية ونهاية . وقد عصف هذا الاكتشاف بكافة أنواع التناقضات من قبيل تناقض أولبرز ، فلم يعد هناك سبب لأن يخطر على بال أحد أن هذا الكون المتمدد يمكن أن يكون فى حالة توازن فى ديناميكيته الحرارية .

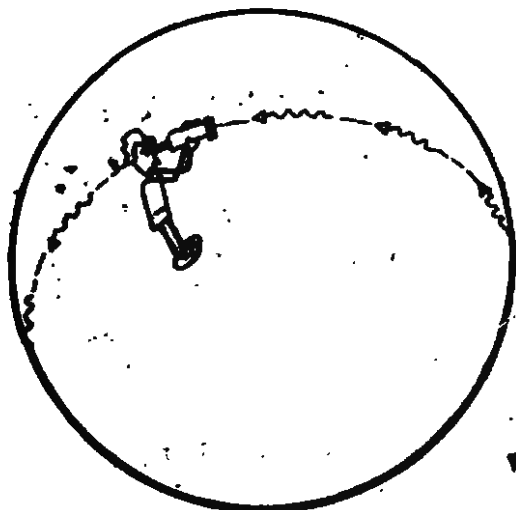
وبالإضافة الى ذلك ، فقد فجر هذا التمدد احتمالا آخر مثيرا : فإذا كان الكون يتحرك ، هل هو يخضع لبعض قوانين الحركة مثل قوانين نيوتن ؟ هل يمكن منطقيا أن نعتبر الكون كله جسما ديناميكيا واحدا ونعالج المسألة على هذا الأساس ؟

ان معظم أسس علم الكونيات الحديث قائمة على الافتراض بأن الإجابة على هذه الأسئلة هي نعم . ومن ثم يفترض العلماء أن الحركة الشاملة للكون تخضع للقوانين ذاتها التي تحكم حركة مكوناته منفردة .

وتتمثل الخطوة التالية في تقزير أى أنواع القوى ينظم الحركة الكونية . وليس هناك سوى القوى الكهرومغناطيسية وقوى الجاذبية التي تتسم بقدر من طول المدى يتيح امتداد فعاليتها عبر هذه المسافات الضخمة . وتتجاوز قوى الجاذبية في الأجسام الضخمة ، القوى الكهرومغناطيسية في شدتها وبفارق كبير حتى على مستوى المجموعة الشمسية . ولذلك نجد نظرية الحركة في الكون مستمدة من نظرية الجاذبية . وكانت نظرية النسبية العامة ، وقت أن حقق هوبل اكتشافه ، قد ترسخت بالفعل كوصف مقبول للحركة تحت تأثير الجاذبية . ومن ثم بدأ الفيزيائيون يدرسون الديناميكا الكونية عن طريق بناء نماذج رياضية للكون من منطلق النسبية .

وفي الواقع ، كانت النسبية العامة قد طبقت بالفعل على علم الكونيات بواسطة اينشتين ذاته قبل الاكتشاف الذي حققه هوبل . ومن الغريب أن اينشتين أصيب بالفزع عندما وجد أن نظريته لا تنم إلا عن أكوان متعددة أو منقبضة . فلقد كان يسعى ، تمشياً مع الاعتقاد السائد في ذلك الوقت بأن الكون مستقر لا يتغير ، إلى بناء نموذج استاتيكي للكون لا يتعرض للسقوط للداخل تحت تأثير جاذبيته الذاتية ، أو للتعدد سعياً إلى الفكك منها . بل لقد ذهب به الأمر إلى تعديل النظرية العامة لتحقيق هذا المطلب ، عن طريق إضافة قوة طرد كونية إضافية بهدف موازنة قوى الجاذبية المنبثقة من النجوم .

وقد اختلف نموذج اينشتين عن النماذج الاستاتيكية السابقة المبينة على نظرية نيوتن بشأن الجاذبية ، في سمة جديدة تماماً ومثيرة ، حيث افترض أن الكون محدود ولكنه على هيئة واحدة في كل مكان ، أى أنه كون محدود الحجم ولكن ليست له حافة ! وما كان ليتسنى التوصل إلى مثل هذه الصورة الرهيبة باستخدام نموذج نيوتن للمكان والزمان . أما المكان المنحني وفقاً لنظرية النسبية العامة ، فإنه لا يتعارض مع هذه السمة . وكنا قد أوردنا مثالا من هذا القبيل في الباب الرابع مبنياً على التناظر مع سطح الكرة ثنائي البعد ، حيث يتصف السطح الكروي بأنه محدود الأبعاد ولكن ليس له حافة أو حدود في أى اتجاه - أنه بمثابة مكان محدود الأبعاد ولكن لا تحده حدود . وفي إطار نموذج اينشتين ، يتسم المكان ثلاثي الأبعاد بطبوغرافيا تماثل تلك التي تتصف بها الكرة ، ولكن



شكل ٥ - ٢

الشكل ٥ - ٢ : المرء يرى قفاه • يتسم نموذج اينشتاين للكون بأنه محدد في حجمه ولكنه ليس محظوظاً بحدود ، وبالتالي يمكن للضوء أن يدور حوله في أي اتجاه ويعود إلى نقطة بدايته • ومن هذا المنطلق يمكن الشخص (مجهزة بتلسكوب قوى بدرجة كافية) أن يرى قفاه ! ويمثل السطح الكروي شكلاً هندسياً ثنائي البعد يتصف بهذه الخاصية الغريبة فيماثل بذلك نموذج اينشتاين للكون •

في ثلاثة أبعاد بالطبع بدلاً من اثنين • ومن ثم يتمثل نموذج اينشتاين للكون في أنه مكان ذو حجم محدد ولكن بلا حدود أو حافة ، والمجرات موزعة فيه بشكل منتظم تمشيًا مع المبدأ الكوني • أي أن المكان ، بدلاً من أن يمتد للخارج بلا نهاية ، فإنه ينفلق مع نفسه تماماً مثلما يتصل سطح الكرة مع نفسه من الجهة الأخرى بشكل مستدير • وذلك يعني أنه لو انطلقت إشارة ضوئية من موقع في أي اتجاه فسوف تعود إلى نقطة الانطلاق ثانية من الاتجاه المضاد بعد أن تكون قد دارت حول الكون كله •

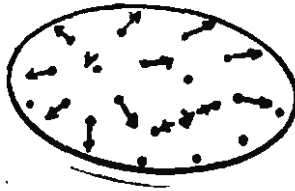
ولاشك أن تصوير الكون على هيئة مغلقة ، محددة الحجم وفي الوقت نفسه بلا حدود ، يمثل بالتأكيد فكرة جديدة وغريبة • ويجد الناس عادة بعض الصعوبة في تصور مثل هذه الكيان ، وكان دائماً يتردد السؤال التالي : ماذا يوجد « خارج » مثل هذا الكيان محدود الحجم ؟ والاجابة على هذا السؤال هي أنه لا يمكن أن يكون هناك ما يسمى « بخارج » الكون وفقاً لنموذج اينشتاين ، لأنه لو كان هناك « داخل » و « خارج » فلابد من وجود حدود بينهما ، ولا توجد مثل هذه الحدود

في هذا النموذج ، فكل النقاط متكافئة تماما وليس منها ما هو قريب من « المركز » أو « الحافة » ، فليس ثمة مركز أو حافة .

وكان أول من استخدم نظرية النسبية العامة لبناء سلسلة من النماذج الرياضية لكون متدد هو خبير الأرصاء الجوية الروسى الكسندر فريدمان Alexander Friedmann (١٨٨٨ - ١٩٢٥) الذى نشر أعماله فى عام ١٩٢٢ . ومازالت هذه النماذج تمثل الاطار النظرى الرئيسى لمناقشة معظم جوانب علم الكونيات الحديث . وتتجسد السمة الرئيسية لنماذج فريدمان فى انها تفترض صفة الانتظام فى الفضاء . وقد أشرنا آنفا الى أن مجموعات المجرات موزعة ، وفقا للمبدأ الكونى ، توزيعا منتظما فى الفضاء . وجاء فريدمان وافترض أن المادة موزعة بانتظام دقيق ، ثم حل معادلات اينشتين للنسبية العامة بناء على هذا التوزيع ، ليقف على شكل التغير الذى سيطرأ على البنية الهندسية للمكان مع الزمان . وبسبب الانتظام ، فإن التغير الوحيد الذى يمكن أن يطرأ على البنية الهندسية هو تغير شامل فى « المقياس » ، أى اما تدد أو انكماش بنفس المعدل فى كل مكان .

ولفهم هذا التمدد بأسلوب بسيط يمكن الاستعانة بقطعة من المطاط . وبصور الشكل (٥ - ٤) قطعة المطاط هذه وقد تفلطت بنقط سوداء موزعة بانتظام . وتمثل هذه النقط المجرات (أو بمعنى أدق مجموعات المجرات) بينما تجسد قطعة المطاط الفضاء . ويمكن تشبيه تدد الكون بعملية شد أو إطالة قطعة المطاط . ولكى يكون التدد منتظما ينبغى أن يكون الشد متساويا فى كافة الاتجاهات وبالنسبة لجميع النقط . ومع تمدد قطعة المطاط تبتعد كل نقطة عن جميع النقط الأخرى . ولو اتخذنا من أية نقطة مرجعا ، فسنجد أن كافة النقط الأخرى تبتعد عنها بحيث تبدو كما لو كانت مركزا لحالة تدد عام . غير أن ذلك ليس صحيحا بالمرّة لأن كل النقط يمكن أن تكون هى هذه النقط المرجع . فليس هناك مركز للتدد وليس هناك مركز للكون . ولاشك أن قطعة المطاط ، على نحو ما هى مرسومة ، لها مركز ولكن يمكن التقلب على ذلك عن طريق زيادة مساحتها الى ما لا نهاية أو عن طريق لفها على هيئة كرة .

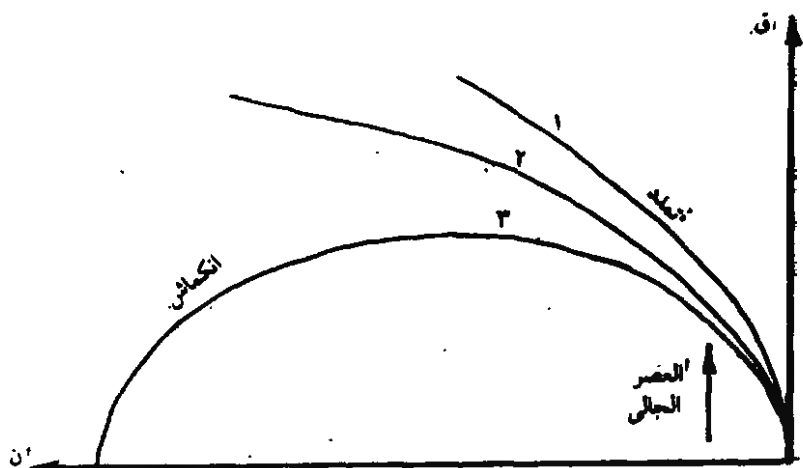
وينبغى أيضا أن نفهم من هذا التماثل أن التمدد الكونى مستمد من تدد الفضاء (المكان) ذاته الممثل بقطعة المطاط ، ومن الخطأ أن يتصور أحد أنه ناجم عن هجرة المجرات الى الخارج صوب منطقة فراغ موجودة من قبل . ويمكن توصيف التغير فى البنية الهندسية عن طريق تحديده



الشكل ٥ - ٤ : تمدد المكان - تعرض قطعة من الخط المغطاة بالنقاط لعملية تمدد منتظم - ولو اعتبرنا أية نقطة ، مثل النقطة (١) مرجعا ، فسنجد سائر النقاط الأخرى تبتعد عنها - ومن شأن النقاط البعيدة أن تبتعد بسرعة أكبر من تلك القريبة - وليس ثمة مركز للتمدد ولكن هناك فقط تغيرا شاملا في المقياس بالنسبة لجميع الأبعاد (كالسافة ف على سبيل المثال) -

المسافة بين أية نقطتين نطيتين - ولأن التمدد منتظم فسوف يتغير مقياس هذه المسافة بمعدل متساو أيا كانت النقطتان المختارتان - وهذا يعني أن معدل التباعد بين نقطتين يتناسب طرديا مع المسافة بينهما ، تماما مثلما قال هابل عن المجرات - وببعت هذا العامل وحده بعض الثقة في أن واحدا من النماذج الرياضية التي وضعها فريدمان يشكل تجسيدا تقريبا جيدا للبنية الكونية الحقيقية على النطاق الكبير - ولكن أى النماذج هو ؟ ثمة ثلاثة نماذج محتملة مبينة في الشكل ٥ - ٥ الذى يمثل تغير عامل المقياس ، وسنرمز اليه بالحرف (ق) ، مع الزمن (ن) -

ولكن قبل أن نناقش هذه النماذج بالتفصيل يجدر أن نتحدث قليلا عن طبيعة الزمان المستخدم هنا - ولعله قد تبين من البابين الثانى والرابع أن الزمان المستخدم من جانب مراقب معين يرتفع بحركته النسبية وبمجال الجاذبية الذى يقع فيه ، فكيف يتسنى إذن بناء زمان مشترك (ن) لوصف مسلك الكون كله بينما يعد هو ذاته فى حالة حركة ، علاوة على تغير مجال جاذبيته ؟ ومرة أخرى نجد الإجابة متعلقة بالمبدأ الكونى - فلما كان الكون (على النطاق الكبير) يبدو على هيئة واحدة لو رصد من أية مجموعة مجرات ، ولما كان التغير بالتمدد يتم بنفس المعدل فى أى مكان ، فإن التأثير على معدل مرور الوقت يعد واحدا فى كافة المواقع ، شريطة ألا تكون آلة قياس الوقت بالطبع فى حالة حركة نسبية لمجموعة المجرات المحلية ، إذا كان ثمة مجال لوجود تأثير للتمدد الزمنى النسبى - وتشكل المجرات فى كل مكان فئة من الأطر المرجعية المتميزة - التى تتسم - بأن الكون يتمدد فيها بمعدل موحد فى كافة



شكل ٥ - ٥

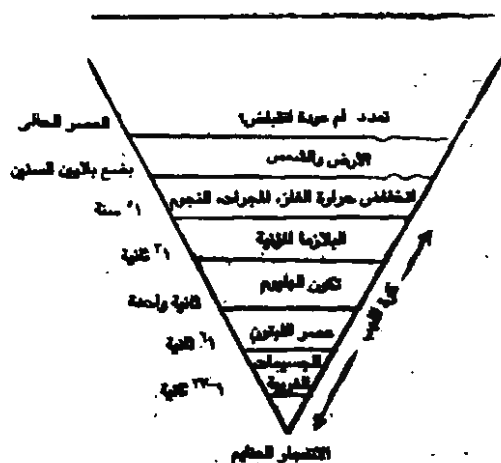
الشكل ٥ - ٥ : النماذج التي وضعها فريدمان للكون • عندما يتعد الكون • فإن حجم أية منطقة نمطية في الفضاء يتزايد ويظل الرسم شكل هذا التزايد وفقا لاحتمالات الثلاثة التي اكتشفها فريدمان • وتبدأ المنحنيات الثلاثة من نقطة الصفر (أى ق = صفر) ويتسم النموذجان ١ • ٢ بأنهما يعتمدان الى ما لا نهاية اما النموذج رقم ٣ فهو يتعرض للتباطؤ حتى يصل لمرحلة التوقف التي يتبعها انقباض يعود به مرة ثانية الى العدم •

الاتجاهات • وتمثل هذه الفئة المتميزة المجال الذي يمكن فى اطراره المقارنة بين معدلات مرور الوقت • فالأرض على سبيل المثال تتحرك ببطء (مقارنة بالضوء) بالنسبة لمجموعة المجرات المحلية وبالتالي يعد توقيت الأرض وسيلة دقيقة لقياس زمان حالة الكون على النطاق الواسع على نحو ما يراها مراقب بعيد يتحرك مع مجموعته المجرية المحلية • وفى المقابل ، فمن شأن الأحداث الكونية أن تبدو بمقياس زمنى مختلف بالنسبة لمراقب يتحرك فى صاروخ بسرعة تزيد كثيرا على سرعة الأرض ، فمثل هذا المراقب لا ينتمى للمجموعة المتميزة من المراقبين لأن حركته السريعة ستجعله يبدو ، بالنسبة لبعض المجرات الموجودة فى اتجاه حركته ، كأنه يقترب بدلا من أن يبتعد •

ويطلق على مثل هذا الزمان « الزمان الكونى » ، ولأنه لحسن الطالع يتطابق الى درجة كبيرة مع التوقيت الأرضى ، فانه يتيح لنا مقارنة ما جرى من أحداث تاريخية على الأرض مع شتى الأحداث الكونية • ويوضح الجدول التالى هذه المقارنة ، مما قد يساعد القارئ على تقدير الأطوال الزمنية التى نتحدث عنها فى هذا الباب •

الجدول ٥ - ١ - تاريخ الكون : الشكل الأعلى يوضح التاريخ العكسي
بينما يبين الشكل الأسفل التاريخ الجارى منذ الانفجار العظيم .

العمر بالسنين	السمة
١٠٠	الثقافة التكنولوجية
١٠ ٠٠٠	الحضارة
٥ ملايين	نشأة الانسان
٢٠٠ مليون	نشأة الثدييات
٣ بلايين	نشأة الحياة على الأرض
٤ ١/٢ بلايون	تكون الأرض
١٠ - ٢٠ بلايونا	الكون



الانفجار العظيم

ولو عدنا الآن الى نماذج فريدمان ، فسنجد أن الأمثلة الثلاثة الموضحة في الشكل ٥ - ٥ مستنتجة من حل معادلات أينشتاين مع افعال ما تولده محتويات الكون من « ضغط » وتشكل هذه الضغوط مصدرا للجاذبية وفقا للنسبية العامة) . ويمثل ذلك درجة تقرب جيدة في المرحلة الحالية لأن تأثير الجاذبية الناجم عن كتلة المادة في المجرات يفوق كثيرا تأثير الضغوط الضعيفة في الكون (الناجمة أساسا عن الاشعاعات) . ومن

السمات المهمة التي تتصف بها هذه النماذج أن معدل التمدد يتناقص بشكل منتظم مع الزمن ، وهذه سمة يتميز بها عدد كبير من النماذج التي يفترض أن مسلك المحتويات المادية فيها يتسم بالاعتدال . ومن الملاحظ أن كل المنحنيات المرسومة في في الشكل تنحني تدريجيا لأسفل . ويوضح السهم الموضع الذي يتكهن به العلماء للعصر الحالي . ويستتبع ذلك أن عامل المقياس (م) لابد أنه كان عند لحظة معينة في الماضي ، يساوى صفرا وفقا لكل واحد من هذه النماذج . ويعبر ذلك عن حقيقة طبيعية مؤداها أن المجرات التي نراها حاليا في حركة تباعد كانت في وقت من الاوقات قريبة تماما من بعضها . وتحتاج النقطة المحددة ، المتمثلة في حالة الكون بالقرب من الموضع (م = صفر) ، بعض المناقشة ، وسوف نرجئ ذلك قليلا حتى نستكمل استعراض السمات الأخرى للنماذج التي طرحها فريدمان .

دليل يديستر لحلول فريدمان

مقولة تغيد ما يعلو لابد أنه سيهبط ، ولكن هذا غير صحيح ، وحتى نيوتن قد عرف ذلك ، ثم أثبت انطلاق الصواريخ الى الفضاء - غلو أطلقت كتلة الى أعلى بسرعة كافية ، فستفلت من الجاذبية الأرضية . ومن المعروف أن

$$\text{الطاقة الإجمالية} = \text{الطاقة الحركية} + \text{الطاقة الكامنة} = \text{ثابت}$$

وبالنسبة للتناظر الكروي فإن هذه المعادلة تتخذ الصورة التالية .

هـــــ

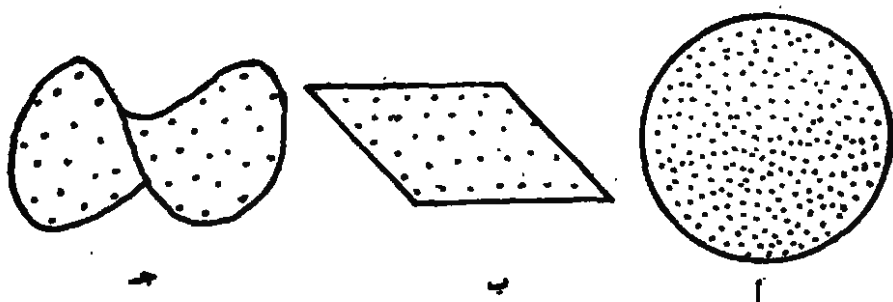
$$\dot{R}^2 = \frac{2}{3} \rho R^3 - \frac{8\pi G}{3} \rho R^3 + C$$

فـ

(ط) هي الطاقة الإجمالية الثابتة و (ك) (ع) هما كتلة المقذوف وسرعته على التوالي ، (ف) هي مسافته من الأرض و (ك ١) هي كتلة الأرض . لاحظ أن (ع) حل هذه المعادلة بسهولة واستنتاج قيمة (ف) بدلالة الزمن (ن) . ولو كانت (ط) موجبة نحصل على المنحنى رقم (١) في الشكل ٥ - ٥ ، ولو كانت سالبة نحصل على المنحنى رقم (٢) أما لو كانت صفرا نحصل على المنحنى رقم (٢) .

وتماثل هذه الحلول البسيطة نماذج فريدمان للكون ، طبقا للحسابات القائمة في نظرية أينشتاين للنسبية العامة - وهي أصعب نظرية في الفيزياء من حيث الحل الرياضي . وبغيد المنحنى رقم (١) بأن الفرصة متاحة للكون (وهو يناظر المقذوف وهو مفترق بعض الطاقة . ويمثل المنحنى في الحل الرياضي الوارد أعلاه) لأن يفلت رقم (٢) الحد الفاصل لامكانية أفلات الكون ، أما المنحنى رقم (٣) فيعني أن الكون (المقذوف) لن يتمكن من الإفلات وسيهبط عائدا .

ويتيح لنا الشكل (٥ - ٥) أيضا التكهن بمستقبل الكون . وهو يوضح أن هناك احتمالين محددتين : فالمتحنيان (١) و (٢) يبينان أن التمدد الكوني سيستمر للأبد . ويمكن فهم السبب في ذلك بالوسيلة البسيطة التالية .



شكل ٥ - ٦

الشكل ٥ - ٦ : البنياات الهندسية المحتملة للتمدد الكوني . ومرة أخرى سنلجأ الى استخدام لوحة ثنائية البعد لتمثيل بعض سمات المكان ثلاثي الأبعاد . وتمثل « البالونة المتمددة » في الشكل (١) النموذج رقم (٢) للكون (وفقا لنماذج فريدمان) ، وهو النموذج الذي سيعود في وقت ما الى الانقباض . ويجسد الشكل (ب) النموذج رقم (٢) « المستوى » (التقليدي) ، الذي تعلمنا هندسته في المدارس . اما في الشكل (ج) فان انحناء المكان يتجه « للخارج » على عكس الانحناء « للداخل » الذي يقسم به الشكل (١) . وهذا يعطي أن الكون في الحالتين (ب) و (ج) سيبقى في حالة تمدد الى ما لا نهاية ، اما في الحالة (١) فان له مصيرا محددًا .

وتتسم كثافة المادة في النموذج رقم (١) بأنها على درجة من الضآلة بحيث انه رغم الجاذبية الذاتية للكون التي تعمل على ابطاء عملية التمدد ، فانه بعد فترة زمنية معينة يصبح التمدد حرا بشكل شبه مطلق - وهذا يعني أن المجرات قد افلتت من تأثير جاذبية بعضها البعض . وفي النموذج الثاني تتصف الكثافة بأنها كبيرة بدرجة تتيج استمرار عملية ابطاء التمدد الى الأبعد ، ولكنها لاتصل الى حد أن توقف هذا التمدد تماما . اما في النموذج رقم (٣) فان الكثافة تكون عالية لدرجة أن عملية التمدد تتخذ عند قيمة قصوى لـ (م) ، إتجاها عكسيا ، حيث تعود المجرات الى التجمع مرة ثانية ، ثم يتقلص هذا الكون مثل الفقاعة النيوتونية ، وينكمش الى الداخل حتى يصل في نهاية المطاف الى حالة مماثلة لوضعه عند بداية التمدد .

ويمعزى السبب فى وجود ثلاثة نماذج متباينة فى هذا الاطار الى أن البنية الهندسية للمكان فى الكون المنتظم يمكن أن تتخذ واحداً من ثلاثة أشكال مختلفة ، وتمثل بشكل تقريبي هذه الصور للبنية الهندسية فى أن المكان يمكن أن ينحن للداخل ، مثل حالة الكرة ، أو للخارج مثل السرج أو يكون مستويا بالطريقة العادية (انظر الشكل ٥ - ٦) ، ومن شأن المكان فى حالة الكثافة العالية والنموذج المحتمل عودته للانقباض ، بأنه ينحن للداخل وبأن له حجماً محدوداً ، شأنه فى ذلك شأن نموذج أينشتاين ، غير أن ثمة وجه اختلاف يتمثل فى أن نموذج فريدمان هو عبارة عن مكان كروى يتمدد وينقبض كما لو كان بالونة تنتفخ بالهواء ثم تفرغ منه .

ويتسم المكان فى النموذج الذى يصوره المنحنى الأوسط رقم (٢) بأنه مستو بالطريقة الاقليدية ، بينما يتصف المكان فى النموذج « المتحرر » رقم (١) بالانحناء للخارج ، وكلاهما يعد ذا حجم لانهاى . وقد يجد الناس فى بعض الأحيان صعوبة فى تصور الكون على هيئة توزيع لانهاى للمجرات فى حالة تمدد مستمر ، فإذا كانت المجرات تملأ المكان بالفعل ، ما الذى يبقى لها لتتمدد فيه ؟ ونرد على ذلك بأنه ينبغي على القارئ ألا ينسى أن المجرات لا تتمدد خلال مكان (فضاء) ثابت ولكنها واقعة فى فضاء هو ذاته يتمدد ، أو يمكن القول ببساطة ان مقياس المسافات يتزايد فى كافة الاتجاهات . .

٥ - ٣ نشأة الكون ؟

وإذا كان الكون يتمدد ، فلا بد أنه كان فى الماضى أكثر انكماشاً . ويوضح الشكل (٥ - ٥) أن معامل مقياس المسافات كان عند وقت معين فى الماضى متلاشياً (م = صفر) وتمثل هذه النقطة بداية تتمدد بالنسبة لنماذج فريدمان . ويرتهن الى حد ما التوقيت الدقيق لهذا الحدث ، بالنموذج المعنى من بين النماذج الثلاثة . وبقياس السرعة التى تباعد بها عنا المجرات الموجودة على بعد معين من الأرض ، يمكن حساب معدل التمدد وبالتالى يمكن تحديد الوضع الحالى للكون على نحو ما هو مبين فى الشكل (٥ - ٥) . ومن الملاحظ فى هذا الشكل أن المسلك الأولى للنماذج الثلاثة كان فى الواقع متماثلاً الى حد كبير وأن الزمان المتبقى لهذه اللحظة (م = صفر) يتراوح بين ١٠ بلايين و ٢٠ بليون سنة .

وما دامت (م) هي مقياس المسافة بين أية مجرتين فالنقطة (م = صفر) تتناسب مع الوضع الذي تتلاقى فيه كافة المجرات وتتلاشى فيه كافة الأطوال والأبعاد ، ولو وصلنا الى الحالة القصوى فان ذلك يعنى أن كل حجم الفضاء الذي نراه ، حتى من خلال أقوى التلسكوبات سيتقلص الى لا شئ بالمرة .

ونستنتج من ذلك أن كل المادة في هذا الكون المرئي ، والتي تشكل حاليا المجرات بما تحتويه من ملايين النجوم والغبار والغاز والمادة الموجودة فيما بين المجرات ، كل ذلك كان عند هذه اللحظة مضغوطا في نقطة واحدة (بالمفهوم الرياضى) ذات كثافة لانهائية ؛ ويسمى ذلك في النسبية العامة الحديثة « الفذاجة » *singularity* . ولقد تحدثنا عن الفذاجة في الباب الرابع عندما كنا نناقش مسألة الثقوب السوداء . والواقع أن حالة نموذج فريدمان للكون عند بداية التمدد هي الحالة ذاتها عند مركز نموذج شفارز شيلد للثقب الأسود . ولكن الى أية درجة من الجدية يمكن أن نأخذ بها مسألة الفذاجة ؟ ولعلنا نسترجع من الباب الرابع أن الفذاجة لم تكن في حقيقة الأمر جزءا من النظرية . فلو وصلت كثافة المادة الى قيمة لانهائية ، لن يبقى هناك مجال لاستخدام معادلات اينشتين لوصف الوضع بشكل سليم . وان وجود الفذاجة في نماذج فريدمان يقتضى أن تتقوض النسبية العامة ، بل ومن المحتمل أيضا أن يتقوض وصف المكان - الزمان ذاته ، في مرحلة مبكرة بدرجة ملائمة . ومن المعروف بالطبع أن نظرية الكم بشأن مجال الجاذبية لا تنطبق الا على الحالة التي يعتبر فيها مقياس الأبعاد ضئيلا بدرجة كافية . وفي حالة الكون ، لا يحدث ذلك الا عندما تكون كل محتويات الكون المرئي متقلصة في حجم نواة ذرية واحدة . ومن شأن ذلك أن يحدث بعد نحو ١٠ - ٢٤ ثانية من بداية التمدد . والشئ الواضح هنا هو أن وصف المكان - الزمان لا يمكن أن يستمر من خلال الفذاجة .

واذا لم يكن هناك مجال لوجود المكان - الزمان عند الفذاجة ، فهذا يعنى أن النقطة (م = صفر) في نماذج فريدمان تصف الوضع الذي انبثقت فيه المكان - الزمان الى الوجود . ويقودنا ذلك الى أن وجود الفذاجة في نظرية فريدمان قد أدى الى ما نراه الآن من اعتقاد واسع النطاق بأن بداية التمدد كانت هي لحظة نشأة الكون . ولاشك ان الفذاجة تعد حتى الآن أقرب شئ اكتشفه العلم الى عملية المجيء الى الوجود . ولو كانت الفذاجة قد وقعت بالفعل بالاسلوب الوارد في نماذج فريدمان ، مع وصول كثافة المادة الى قيمة لانهائية ، لأغلق ذلك الباب أمام استمرار الفيزياء ، أو أمام استمرار التفكير الفيزيائى من خلالها في محاولة للوصول الى

مراحل أكثر تبكيرا بالنسبة للكون . وهذا يعنى انه لايمكن التكهن بأى شيء ذى معنى طبيعى أو يمت بصلة لعلم الفيزياء ، يسبق بداية التمدد . وهذا شرط يتماشى فيما يبدو مع مقتضيات عملية الخلق أو النشأة .

ولو التزمنا حرفيا بنماذج فريدمان ، فسنجد أن كل المادة فى الكون، وليس المكان - الزمان فقط ، قد بعثت الى الوجود عند الفقاذة . ولقد تصادف أن تكون الفقاذة هى النقطة الوحيدة التى يجيز فيها علماء الفيزياء المتخصصون فى الجسيمات الأولية ، نشأة المادة الأصلية . وقد ذكرنا فى القسم (٤ - ٤) أن الجسيمات تحمل أنواعا مختلفة من البطاقات وتحفظ بها حتى لو تحولت من صنف الى آخر أو عندما تتكون فى ثنائيات . وهذا يعنى أنه لا مجال لأن تتكون مادة بدون أن يتكون مقدار مماثل من المادة المضادة . غير أن كل القوانين الفيزيائية من هذا القبيل تصبح باطلة عند الفقاذة وبالتالي من الوارد فى هذه اللحظة أن تنشأ المادة دون أن تكون مصحوبة بالمادة المضادة .

ومن السمات البارزة لهذا التصور العلمى لنشأة الكون أن عملية الخلق شملت المادة وأيضا المكان - الزمان برمتيه . ويتناقض ذلك مع ما جاء فى التوراة بشأن الخلق والذى يفيد بأن الأشياء المادية قد خلقت فى عدم كان موجودا من قبل . أما المفهوم الذى نتحدث عنه فهو يفيد بأنه قبل التمدد ليست المادة وحدها هى التى لم تكن موجودة ، ولكن لم يكن هناك أيضا مكان أو زمان . وينبغى أن ننظر الى الفقاذة باعتبارها حدا زمنيا فاصلا لكل شيء ، ولذلك ، فلا مجال لأن يطرح السؤال القائل : ماذا حدث « قبل » الانفجار العظيم ، فكلمة « قبل » تقتضى وجود ترتيب زمنى ، وذلك أمر لا وجود له عند الفقاذة . وينسحب الشيء ذاته على مسألة السببية ، حيث عادة ما يتساءل الناس عن السبب الذى أدى الى حدث الخلق . ولما كان السبب يشبق دائما الحدث ، فهذا يقتضى مرة أخرى وجود ترتيب زمنى وذلك أمر مرفوض . علاوة على ذلك ، فإن نفس فكرة وجود أسباب سابقة على الحدث ، تفقد معناها لأن الاعتبارات الزمنية لايمكن أن تمتد الى ما وراء الفقاذة . وتوضح كل هذه الاعتبارات أن مفهوم حدث الخلق فى نظرية النسبية يعد على الصعيد الطبيعى أكثر عمقا بكثير عنه فى التوراة . وسوف نعود مرة أخرى فى الباب السابع الى تناول بعض الجوانب المتعلقة بالسببية والخلق فى ضوء تحليل عدم التناظر الزمنى فى الكون .

ويتقبل معظم المشتغلين بعلم الكونيات هذا التفسير الذى أوردها لنماذج فريدمان . أما النقطة المثارة حولها الجدل فهي ، الى أى مدى يمكن الوثوق فى السمات المبسطة لنماذج فريدمان كوصف للكون الحقيقى .

وقد ذكرنا فى وقت سابق أن الضغوط فى الكون قد أصحلت عند حساب النماذج التى نتحدث عنها هنا . ومن سنن الطبيعة أنه عندما تتعرض مادة للانضغاط تتولد مقاومة داخلية تمنع مزيدا من الانضغاط . وقد نتوقع فى حالة الكون أن يكون من شأن مثل هذه المقاومة أن تحول دون الانكماش اللانهائى للكون عندما تقترب قيمة (م) من الصفر . والواقع أن الضغط يصل الى قيمة بالغة فى المراحل الأولى من التمدد . ويرجع ذلك فى معظمه الى الإشعاع فى الكون . ولعلنا نتذكر أنه من شأن الضوء أن يتزحزح صوب اللون الأحمر نتيجة التمدد ، وهذا يعنى أن الضوء فى الماضى كان أقرب الى الطرف الآخر من التدرج الطيفى ، أى من التردد الأعلى وبالتالي فهو أقرب الى الطاقة الأعلى غير أن الضوء من شأنه أن يولد ضغطا يتناسب طرديا مع طاقته (وثمة تجربة بسيطة تثبت أن الضوء يولد ضغطا ، صحيح أنه بمقدار ضئيل ولكن له أهميته . وتمثل هذه التجربة فى تسليط ضوء بطارية قوية على طاحونة هوائية معلقة بشكل دقيق فى فراغ ، والنتيجة هي أن الضوء سيؤدى الى دوران الطاحونة) ، وتستنتج من ذلك أن الضغط الناجم عن الإشعاع يتولد بمعدل متزايد كلما كان التمدد فى مراحله الأولى .

وقد ذكرنا آنفا أن الضغط يعد أيضا مصدرا للجاذبية وفقا لنظرية النسبية العامة . والواقع أن الضغط الناجم عن الإشعاع خلال المليون سنة الأولى من التمدد أو نحو ذلك ، كان يغلب على كثافة المادة فى هذا المجال . ونظرا للجاذبية الناجمة عن الضغط ، لا مجال لأن تتوقف عملية تقلص الكون ، بل انها فى الواقع تؤدى الى زيادة معدلها (فيما عدا عند الاقتراب من م = صفر بالطبع حيث تؤدى الى ابطاء عملية الانقباض) . ويتبين لنا من ذلك انه لا يمكن تجنب الفذادة فى نماذج فريدمان لو أخذنا فى الحسبان بتأثيرات الضغط .

وتوفر دراسة بعض النماذج الأخرى التى تنسم بقدر أكبر من الصومية مقارنة بنماذج فريدمان ، مؤشرا يوضح بدرجة أو بأخرى الى أى مدى يمكن الأخذ بعين الاعتبار احتمال حدوث فذادة فى الكون الحقيقى . والواقع أن هذا الانتظام البديع الذى يعم كل مكان فى الكون يشكل واحدا من الألغاز المستعصية على الفهم فيما يتعلق بحالة هذا الكون ، ويرجع جانب من هذا الغموض الى أن كل نقطة فى هذا الكون المتمدد محاطة بحافة

أفق ، مثل تلك التي تحيط بالثقب الأسود ، وهذه الحافة تحول دون وجود أية اتصالات بالمرّة بين المناطق التي تفصل بينها مسافات بعيدة بدرجة كافية . وتقع حافة الأفق التي تحيط بنا حالياً على بعد ٢٨١٠ سسسم ، أى نحو عشرة بلايين سنة ضوئية . ومن شأن المادة عند هذه النقطة أن تبتمد عنا بسرعة تصل بدرجة أو بأخرى الى سرعة الضوء (أى تصل الى حد الزحزحة الحمراء اللانهائية) ، وبالتالي ، لا مجال لوجود أى اتصال بيننا وبين أى مكان فى الفضاء يقع الى أبعد من هذه النقطة . ولما كانت حافة الأفق هذه تتنامى مع الوقت فسوف يكون بوسعنا ذات يوم أن نرى المادة التي تقع على مسافة تزيد على ٢٨١٠ سم من الأرض .

وعلى النقيض من ذلك ، كانت حافة الأفق محدودة للغاية فى الأزمنة المبكرة . وتفيد نماذج فريدمان بأن هذه الحافة ، بعد ١٨١٠ ثانية من بداية التمدد ، كانت من الضلالة بمكان حتى ان حجمها لم يكن ليزيد عن حجم الذرة .

ولما كانت مثل هذه المناطق المحدودة من الكون منفصلة عن بعضها فى بداية التمدد ، لم تكن أى منها « تعلم » شيئاً عما يجرى فى المناطق الأخرى ، فكيف اذن كان من شأن الكون المرئى برمته أن يتمدد بمعدل واحد ؟

ويفيد واحد من الردود المطروحة على هذا السؤال بأن ذلك لم يحدث أصلاً ، والسيناريو البديل هو أن الكون قد بدأ تمدده بشكل عشوائى تماماً الى أن ظهرت آلية ما امتصت الخلل وأضفت الانتظام على مسلك الكون . ويضفى الافتراض بوجود فوضى تامة فى بداية الكون ، وهو ما يتناقض تماماً مع الافتراض العكسى بوجود انتظام تام فى هذا الوقت ، سمة اضافية تلقى بعض الترحيب وتمثل فى أنه لم تكن ثمة حاجة لأن ينشأ الكون فى ظل ظروف خاصة . فلو أمكن التوصل الى آلية مقنعة لامتناس الفوضى وتخفيف حدتها فسوف تفتح الباب لمجال واسع من الاحتمالات بالنسبة لظروف النشأة الأولى ، وكلها يمكن أن تتماشى مع ما وصل اليه الكون من ظروف حالية ، وسوف نعود الى مناقشة تلك المسألة مرة ثانية فى الباب السابع .

وقد طرحت عدة تصورات لآلية امتصاص الفوضى ، منها على سبيل المثال اللزوجة التي تكتسبها النيوترينات فى حالات الكثافة الفائقة . وثمة تصور آخر يميل اليه بشدة علماء الكونيات الروس ويتمثل فى عملية تكون الجسيمات . وقد ناقشنا من قبل ، فى القسم (٤ - ٤) ،

كيف يمكن أن تتكون الثنائيات من الجسيمات والجسيمات المضادة لو توفرت كمية من الطاقة تعادل (٢ ك ص ٢) . ويمكن أن تستمد هذه الطاقة من التأثيرات المدية في مجال الجاذبية . وتتيح هذه الآلية الفرصة لتكون ثنائيات الجسيمات والجسيمات المضادة من المكان الخالي المنحني ذاته . ويأتي رد الفعل الذي يتعرض له المكان نتيجة لعملية التكون ، في صورة تخفيف وتسطيح للانحناءات . وكلما كانت البنية الهندسية للمكان بعيدة عن الاستواء الذي يتسم به نموذج مينكوفسكي ، كانت عملية انتاج الجسيمات أكثر نشاطا ، وذلك يعني أن الكون الذي كان يموج في بداية تكونه بالحركة العشوائية للجسيمات ، قد شهد نتيجة لذلك عملية انتاج غزيرة للجسيمات كان من شأنها أن عملت على اضمحاء الاستواء على الأشياء في الاتجاه الذي أوصلها الى ما تتسم به الآن من انتظام . بل من الوارد أن تكون كل المادة في الكون قد نشأت بهذه الطريقة بدلا من الفجأة . ولو نحينا جانبا الجدل حول انتهاك قوانين الاحتفاظ « ببطاقة الهوية » في لحظة الفجأة الأولى ، فسوف نلاحظ أن هذه الطريقة الأخيرة من شأنها أن تسفر عن تكون المادة المضادة بنفس مقدار المادة ، ولا يمثل ذلك مشكلة لو أمكن اكتشاف آلية تعمل على فصل المادة من المادة المضادة وبالتالي تمنع نسبة كبيرة منها من أن يلاشى بعضها بعضا . وقد زعم الفيزيائي الفرنسي ر . اومنييه R. Omnes على مدى سنوات بوجود مثل هذه الآلية ، مستندا في ذلك الى بعض الاعتبارات المستمدة من فيزياء الجسيمات الأولية . ومن شأن مثل هذا الفصل أن يؤدي الى تكون بعض المجرات من المادة ومجرات أخرى من المادة المضادة — وذلك تنظيم كوني آمن تماما لأن المجرات نادرا ما تتصادم . وانه لمن دواعي الحكمة بالنسبة لرائد فضاء مغامر ، أن يتأكد قبل انطلاقه الى مجرة أخرى ما اذا كانت هذه المجرة مكونة من نفس مادة مجرته أم لا . وعلى أي الأحوال وحتى ظهور نظريات أخرى تلقى مزيدا من الضوء على هذه الموضوعات وتبين الى أي مدى يمكن التحويل على سلامتها ، علينا أن نختار بين احتمالين لأسلوب نشأة الكون : فاما كان هناك تناظر بين المادة والمادة المضادة مع وجود حالة فوضوية أولية ، أو كان التناظر متمثلا في بداية مستوية سلسلة مع عدم توازن المادة .

وقد يبدو للوهلة الأولى أن انطلاق عملية التكون في ظل انتظام تام قد يوحي بعدم حدوث الفجأة الأولية من الأصل . فمن شأن هذه الفجأة ، وفقا لنموذج فريدمان ، أن تحدث أينما تجمعت كل المادة مع بعضها في نقطة واحدة . ولو اتسمت الحركة بقدر فائق من العشوائية ، فقد يتبدد احتمال حدوث مثل هذا التجمع . غير أن جورج اليس George Ellis

وستيفان هوكينج (Stephen Hawking) أثبتا بأسلوب رياضي باهر، يفرح على بعض الافتراضات المنطقية المقبولة تماما بشأن مسلك المادة في ظل الكثافة الفائقة ، أنه لا مجال لتلافى حدوث فذاعة واحدة على الأقل في الكون ، حتى لو جاء ذلك نتيجة ما يمكن أن يحدث من خروج على الانتظام التام . ولا توفر النظرية أية معلومة بشأن طبيعة الفذاعة ، أو بشأن حالة الكون على مقربة منها ، فيما عدا أن أى جسيم يصطدم بها سينتهى وجوده في المكان - الزمان الخاص بنا . وتفيد دراسة بعض النماذج غير المنتظمة وغير المتناظرة بأن مسلك الكون ، في الماضي البعيد ، على مقربة من الفذاعة قد يكون بالغ التعقيد ، على النقيض تماما من التقدم التمددي السلس الذي تتسم به نماذج فريدمان .

ورغم أنه ليس من شأن حالات الخروج على الانتظام أن تخلص كوننا من احتمال حدوث فذاعة في موقع ما من المكان - الزمان ، فقد يحدث ألا « تصادف » معظم المادة في الكون هذه الفذاعة ، بحيث أنه رغم عمل المكان - الزمان على تكوين « حافة » له ، لا يحدث بالضرورة أن تصطدم بها معظم المادة الموجودة في الكون . وتتسم الانفجارات من هذا القبيل بتدفق المادة من المحيط القريب من الفذاعة ، بدرجة كثافة فائقة للغاية . ولكنها ليست لانهاية . وتسمى مثل هذه الانفجارات (Whimpers)

غير أنه مازال ثمة احتمال لخرق نظرية هوكينج - اليس ، لو ابتعد كثيرا مسلك المادة عند درجات الكثافة الفائقة للغاية ، عن التوقعات العامة . ومع ذلك ، فليس معروفا ما إذا كان من الوارد حدوث ضغط سالب أو طاقة سالبة عند مرحلة ما ، وإن كانت المسألة برمتها مستتبعة . وإذا كانت بعض الخصائص الكمية للمادة تسمح في الواقع بتكون ضغوط سالبة في بعض الحالات (وإن كانت حالات مستتبعة) ، فإن النماذج الكونية الحالية من الفذاعات وفقا لهذا الترتيب ، تعد بعيدة تماما عن الكون الحقيقي

وعلى مستوى أعمق ، قد يكون من شأن التأثيرات الكمية للمكان - الزمان (مثل الجاذبية الكمية) ، بخلاف التأثيرات الكمية للمادة ، أن تحول دون تمدد الكون عند الفذاعة ، وذلك بأن تعمل على تسجيل المثال على أن « يرتد » الكون عند درجة كثافة عالية بالقدر اللازم . وقد سبق أن أشرنا في الباب الرابع إلى أنه ليست هناك حتى الآن نظرية مرضية بشأن الجاذبية الكمية ، ولذلك يبقى هذا الاحتمال مجرد تكهن .

ولو صح أن معظم المادة في الكون لم تصادف الفذاعة ، أو كان هناك ارتداد كمي بشكل ما ، فمن الطبيعي أن يثار السؤال التالي : ما هي حالة

الكون « قبل » حدوث الارتداد ؟ وتأتي الإجابة من منطلق التناظر الزمني الذي تنسم به نظرية النسبية العامة ، وهي أن حركة الكون على النطاق الواسع ستكون في هذه المرحلة السابقة على الارتداد عكس ما هي عليه في المرحلة الحالية . وهذا يعني أن الكون كان في حالة انكماش قبل مرحلة التمدد الحالية . وعلى مستوى أدنى ، فمن الوايد أن تكون تلك المرحلة السابقة المزعومة تنسم بوجود مجرات ونجوم وأجرام فلكية أخرى ؛ وإن كان كل ذلك مجرد تكهنات . وسوف نتناول في الباب القادم المفاهيم الأوسع نطاقا لهذه النماذج .

وبما أن معظم علماء الكونيات ، في وقت تأليف هذا الكتاب ، كانوا متقبلين فيما يبدو فكرة الفذائة التي طرحها فريدمان كوصف لعملية الخلق الأول في الكون الحقيقي ، يجدر بنا أن نناقش في إيجاز مسألة ما إذا كان من الوايد أن يهيء الكون لنفسه مرة أخرى « ظروف خلق » مماثلة للمرة الأولى . وقد سبق أن شبهنا الفذائة الأولى بتلك التي تحدث في جوف الثقب الأسود . غير أن ذلك ليس صحيحا إلا في جزء منه فقط . ويمثل الانفجار العظيم في الواقع معكوسا زمنيا للثقب الأسود . ففي الحالة الأولى تنفجر المادة وتندفق خارج الفذائة ، أما في الحالة الثانية فهي تنقبض إلى داخل الفذائة ، وأكثر من ذلك ، فإن حافة الأفق التي تحيط بكافة المناطق في الانفجار العظيم تعد المعكوس الزمني لحافة الأفق المحيطة بالثقب الأسود ، ولذلك فإذا كانت الفذائة التي تحدث في مركز الثقب الأسود لا يمكن أن نراها من الخارج فإن الفذائة التي تحدث في بداية التمدد الكوني تعد « عارية » ، وهذا يعني من حيث المبدأ أنه بوسعنا أن ننظر إلى داخل الكون وأن نعود زمنيا إلى الوراء (بسبب زمن رحلة انتقال الضوء) لنرى عملية الخلق .

غير أنه لا يمكن في الواقع أن نرى بالراجع إلى ما قبل نحو ١٠ سنة من بداية التمدد لأن المواد الكونية قبل ذلك التاريخ كانت غير منفذة للإشعاعات ، وبالتالي لا يمكن رؤيتها . ومع ذلك يظل المبدأ المهم يتمثل في أن الكون هو منطقة من المكان - الزمان تقع في المستقبل السببي للفذائة بحيث أنه لا يمكن بأي حال التنبؤ بطبيعة الكون . ولا يمكن لأحد أن يتكهن ، ولا حتى من حيث المبدأ ، بما يمكن أن تسفر عنه الفذائة . ويتلام ذلك مع ما هو مفهوم بشأن علم التناظر الزمني في الكون والذي يفيد بشكل ما (انظر الباب السادس) بأن الكون قد بدأ بطريقة عشوائية .

وبفض النظر عن الظروف الخاصة المتعلقة بالمراحل المبكرة الأولى للتمدد ، تظل نماذج فريدمان هي الأساس الذي يعتمد عليه معظم علماء الكونيات في دراسة الكون . ولو تقبلنا الآن بصفة مؤقتة أن (م = صفر) تمثل أحد البدائل البسيطة المقترحة لعملية الخلق الأولى ، فسنجد أنه بوسعنا أن ندرس بقدر كبير من التفاصيل الأحداث التي شهدتها الكون (وفقا لنماذج فريدمان) في هذه المراحل الأولى من التمدد . وما زالت بعض تفاصيل هذه الأحداث تتجلى حتى الآن في الكون ويمكن رصدها ، وبالتالي يمكن تمحيص هذا النموذج البسيط باستخدام المعلومات المستقاة من الشواهد المختلفة واختبار مدى تلاؤمه مع المنطق . وقد تبين أن نموذج فريدمان يتسم بدرجة كبيرة من المعقولية رغم ما يتصف به من بساطة .

ورغم أنه لا يمكن تطبيق الفيزياء المعروفة على اللحظات الأولى لنشأة الكون ، أو حتى قبل تكون الجاذبية الكمية عند ١٠ - ٤٢ ثانية ، فبوسعنا أن نبني نموذجا للكون بعد الميكروثانية الأولى أو نحو ذلك بحيث يمكن وصفه بالنظريات المعروفة ، بقدر معقول من الاطمئنان . أما اللحظات المبكرة للغاية التي يقل فيها عمر الكون عن الثانية الواحدة فمن المستبعد تماما تكوين رأى يعتد به بشأن الحالة الكونية فيها .

ومن شأن محتويات الكون ، مثلها في ذلك مثل أية منظومة طبيعية ، أن تسخن إذا تعرضت للانضغاط وأن تبرد مع التمدد . ومن ثم يمكن اعتبار الزحزحة الحمراء الشهيرة لموجات الضوء ، التي اكتشفها هوبل ، مؤشرا على انخفاض درجة حرارة الضوء نتيجة للتمدد الكوني ، وهذا يعني أن درجة حرارة الكون في المراحل المبكرة للانفجار العظيم كانت بالغة بسبب الانضغاط الضخم . ولذلك ، عادة ما يطلق على محتويات الكون خلال هذا الوقت اسم « كرة اللهب الأولية » (primeval fireball) .

ومن غير الوارد أن يكون أى من التكوينات التي نراها في الكون حاليا ، مثل النجوم والمجرات ، قد وجد في كرة اللهب الأولية . بل حتى الذرات ما كانت لتتحلل مثل هذه الظروف ولتفتت تحت تأثير الضغط ودرجات الحرارة الفائقة . وقد نتصور كرة اللهب في المراحل المبكرة الأولى على هيئة سائل يتكون من خليط من كافة أنواع الجسيمات الأولية المتفاعلة بشدة فيما بينها في ظل توازن حرارى .

ويبدى بعض علماء الكونيات قدرا من التحفظ ازاء مناقشة حالة كرة اللهب فى المراحل المبكرة عن الميكروثانية ، ولكننا سنبدأ من هذا الوقت الذى كانت درجة الحرارة فيه تناهز مليون مليون درجة . ورغم أن الجزء من المليون من الثانية قد لا يشكل شيئا يذكر فى العرف البشرى فانه يمثل زمنا طويلا للغاية بمقياس علم فيزياء الجسيمات الأولية . ولا شك أن تلك اللحظات الخاطفة الأولى المتسمة بالنشاط العنيف قد شهدت برنامجا حافلا فى خضم التفاعلات بين شتى الأنواع المختلفة من الجسيمات ، والتي مازال بعضها يشكل لغزا على المستوى المصغر . ومازال الكثير من المعلومات المتعلقة بفيزياء الجسيمات الأولية فى هذه المراحل المبكرة ، غامضة . ولكن بنهاية أول جزء من ألف من الثانية فى عمر الكون نحسب أن معظم الجسيمات المألوفة تكون قد تلاشت منذ وقت طويل (نسبيا بالطبع) نتيجة التفتت والاضمحلال . انها لحظات مارقة مذهلة جلية ، يمثل فيها الكون بالبلايين تلو البلايين من الجسيمات الغريبة ، ثم لا تلبث أن تختفى ، وربما لم يعد بعضها للظهور فى الكون مرة أخرى !

ومع تناقص درجة الحرارة سريعا من ١٢١٠ درجة ، تسخل كرة اللهب ما يسمى بعصر اللبتون Lepton era ، ليبدأ تكون الجسيمات المألوفة مثل البروتونات والنترونات والالكترونات وأيضا المونوات والنيوترينات والأشعة الكهرومغناطيسية (على هيئة فوتونات اشعة جاما) ، وكلها مختلطة ببعضها فى حالة توازن . وكانت درجة حرارة الاشعاع عالية لدرجة أن الفرصة كانت مهيأة لتكون ثنائيات من الالكترونات / البوزيترونات . ولما انخفضت درجة الحرارة اختفت المونوات أولا ، وتلتها البوزيترونات . وبعد مضي نحو عشر ثوان تناقصت درجة الحرارة الى بضعة بلايين درجة وأصبح الجانب الأعظم من الجسيمات يتكون من البروتونات والنترونات والالكترونات المتبقية .

وتشهد هذه المرحلة بداية عصر جديد مهم ، يطلق عليه اسم عصر البلازما (Plasma era) . وتتسم هذه المرحلة بانخفاض درجة الحرارة بقدر يتيح للنترونات والبروتونات المتحركة بعنف بالغ ان تبدأ فى الاتحاد لتكون نواة الهليوم وبعض نوى الضوء الأخرى . وتفيد الحسابات التفصيلية بأن نحو ربع عدد البروتونات يشترك فى تكوين نوى الهليوم مع نسبة بالغة الضالة من الايتريوم والليثيوم . ومن ثم يكون الهليوم نسبة تناهز ١٠٪ من النوى المنحدرة من كرة اللهب ويظل الباقي نوى هيدروجين (بروتون واحد) . ويقترب هذا التوزيع بدرجة كبيرة من الوضع الحالى الذى تفرز فيه هذه العناصر الخفيفة ، وهو ما يبعث بشدة

على الربط بين كرة اللهب الأولية وواحد من مصانع انتساج العناصر المشار إليها في القسم (٥ - ١) . ولقد كان من قبيل التأكيد الرائع أن مجريات الأمور في عصر البلازما في الكون الحقيقي لم تكن بسيطة عما يمكن استنتاجه من نموذج كرة اللهب في الكون الذي رسمه فريدمان .

وقد استمر عصر البلازما لنحو سبعمائة ألف سنة انخفضت خلالها درجة الحرارة الى نحو أربعة آلاف درجة (أى أقل قليلا من درجة حرارة سطح الشمس) ، وبدأت الالكترونات تتحد مع النوى لتكون الذرات العادية ، وبعد ذلك صار الطريق واضحا لحدوث عمليات التكثف المحلية للمادة تحت تأثير الجاذبية ، حيث انفصلت كتل من الغاز في حركة دورانية لتكون مجسوعات ، وتقلصت تلك المجموعات ببطء لتكون المجرات ثم بعد ذلك النجوم والكواكب .

واستمر انخفاض حرارة كرة اللهب منذ ذلك الحين بسبب استمرار التمدد الكوني ، حتى وصلت الآن ، وبعد مضي حوالى عشرة بلايين سنة ، الى زهاء ثلاث درجات فوق الصفر المطلق - وهي قيمة تقل عن درجة حرارة الغاز السائل . ولاشك أن رصد هذا الوهج الضعيف المتضائل لكرة اللهب الأولية ، والذي توصل اليه الأمريكيان أرنوبنزياس *Arno Penzias* وروبرت ولسون *Robert Wilson* فى عام ١٩٦٥ ، ليعد من الاكتشافات العلمية الكبرى . ويعرف هذا الوهج باسم الخلفية الإشعاعية الكونية وقد انتقلت هذه الحفزية ، للنشأة الملتهبة للكون عبر الفضاء بلا عائق تقريبا منذ انتهاء عصر البلازما ، فقد كانت قمرق الأرض بصفة مستمرة من شتى أرجاء السماء . ويبحث وجود هذه الحفزية ثقة كبيرة فى سلامة الأفكار العامة المتعلقة بالنموذج المتفق عليه للانفجار العظيم ، وبأن الكون كان بالغ الكثافة وقت وقوع الانفجار منذ زهاء عشرة بلايين سنة .

٥ - ٥ الأفكار غير التقليدية بشأن علم الكونيات

ولقد استندنا فى كل ما أوردناه حتى الآن من مناقشة فى هذا الكتاب بشأن نشأة الكون الى نماذج فريدمان الثلاثة الموضحة فى الشكل (٥-٥) ، ربما مع بعض الاختلافات الكبيرة فى المراحل المبكرة للغاية . ويمضى ذلك الى أن هذا هو الرأى السائد على نطاق واسع بين علماء الفلك وعلماء الكونيات وقت كتابة هذا الكتاب . غير أن جانبا كبيرا من البيانات القائمة على المشاهدات الفلكية يتسم بطبيعة تجريبية وغالبا ما تكون منقوصة ، ولذلك فقد حدثت فى الماضى انقلابات ضخمة فى الآراء ، وقد يتكرر ذلك بالطبع .

وتطرح بين الحين والحين نماذج أخرى للكون تختلف اختلافا جديرا عن نموذج الانفجار العظيم . ويقوم العديد من هذه الصور البديلة للكون اما على تعديل لنظرية اينشتين للنسبية العامة أو التخلي عنها تماما والاستعاضة عنها اما بنظرية مختلفة للجاذبية أو مجموعة كاملة من المبادئ الجديدة . وتعد نظرية الاستقرار واحدة من هذه البدائل ، وقد كان لها وقع كبير على علم الكونيات لبضع سنوات . ولا تتضمن هذه النظرية حدثا من قبيل الانفجار العظيم ، ولذلك فهي تصطدم ببعض الدلائل من قبيل وجود الخلفية الاشعاعية الكونية ، وأن الكون كان في وقت ما في الماضي كثيفا وساخنا ، وسوف نناقش في الباب التالي المقتضيات التي تفرضها نظرية الاستقرار على طبيعة الزمان .

ومن بين البدائل العديدة للنماذج غير التقليدية التي تقر بوجود انفجار عظيم ، ربما كانت هناك فئتان فقط تستحقان الذكر : تقوم الفئة الأولى على ادخال عامل طرد كوني اضافي على معادلات اينشتين للنسبية العامة ، أما الفئة الثانية فتفترض أن معامل عجلة الجاذبية الثابت (ج) يتغير مع الزمان . وقد اشرنا في القسم (٥ - ٣) الى أن اينشتين كان قد اقترح ادخال تعديل على مجموعة المعادلات الأصلية للنسبية العامة ، من أجل بناء نموذج كوني يتسم بالاستقرار ، وذلك لأن هوبل لم يكن قد اكتشف بعد أن الكون في حالة تمدد . ورغم أن المعادلات المعدلة كانت صالحة تماما لبيان الوصف الصحيح للجاذبية ، كان لوجود هذا العامل الإضافي بعض النتائج الغريبة بل وغير المرضية على نحو ما يراها بعض علماء الكونيات ، ويتسلل التأثير الطبيعي للعامل الجديد المعنى ، في قوة طرد كونية موجودة في كافة الأنحاء . وكان الأسلوب الذي لجأ اليه اينشتين لبناء نموذج مستقر للكون هو الموازنة بين هذا التأثير وقوة الجاذبية المنبثقة من المادة . غير أن هذا الميزان الدقيق يتسم في الواقع بعدم الاستقرار ، بحيث ان أى خلل بسيط في التوازن سيؤدي اما الى الانقباض أو الى التمدد غير المحدود .

وثمة نماذج عديدة تتسم بالتجانس والتماثل في خصائصها ، وتتضمن مثل هذا التناظر الكوني الذي يؤول في نهاية الأمر الى ذلك النوع من التمدد غير المحدود . ولما كانت قوة التناظر بين نقطتين تتصاعد في الواقع كلما ازدادت المسافة بينهما ، فمن شأن التمدد أن يعمل على مضاعفة هذا التناظر . وبالتالي نجد الكون يتمدد بمعدل تصاعدي على عكس ما هو وارد في التسلسل (٥ - ٥) . وقد اقترح عالم الفلك الهولندي وليام دي ستر William de Sitter (١٨٧٢ - ١٩٣٤) واحدا من مثل هذه

النماذج التي تتمدد بشكل تصاعدي ، غير أنه كان نموذجاً خالياً تماماً من
أية مادة ، مجرد فضاء فراغ متمدد !!

وتتسم بعض النماذج الأخرى (وليس كلها) ، التي تفترض وجود
قوة تنافر كونية ، بأن التمدد يبدأ عند نقطة انطلاق أولية (م = صفر) ،
مما يجعلها مرشحة لحدوث انفجار عظيم . ونذكر منها على وجه الخصوص
نموذج ادينجتون - لوميتر (نسبة الى سير آرثر ادينجتون ورجل الدين
البلجيكي جورج لوميتر Georges Lemaitre) الذي يتسم بنوع من المسلك
يكتسب قدراً كبيراً من الأهمية ، يبدأ هذا النموذج بالتمدد بنفس الطريقة
العامة مثل نماذج فريدمان النمطية ، مع مصطلح تباطؤ ناتج عن تأثير
الجاذبية المنبعثة من المادة ، ومع الوقت يتغلب التنافر الكوني على قوة
الجاذبية وينطلق التمدد الكوني التصاعدي بلا حدود ، ولكن خلال الفترة
التي يتعادل فيها التأثيران يبقى الكون في حالة تقترب من الاستقرار .
يمكن أن تطول هذه الفترة كيفما يشاء المرء وذلك عن طريق اختيار قيمة
لقوة التنافر الكوني تقترب من تلك التي اختارها اينشتاين لبناء نموذج الكون
المستقر . وقد أعيد طرح نموذج ادينجتون - لوميتر منذ عدة سنوات في
محاولة لايجاد تفسير للغزاة الفاتحة التي ظهرت بها الأجسام القريبة
المعروفة باسم الكازار (quasars) والتي صاحبها زحرة حمراء
عالية .

وفي عام ١٩٣٧ طرح بول ديراك الفيزيائي البريطاني الشهير الحاصل
على جائزة نوبل ، فكرياً مختلفاً تمام الاختلاف بشأن نشأة الكون . فقد
استرعى انتباه ديراك ، شأنه في ذلك شأن عالم الفلك سير آرثر ادينجتون ،
ما يبدو من تطابق متمثل في أن الكون يفوق في حجمه عن الالكترونات ،
بنفس النسبة الضخمة التي تزيد بها الكهرباء على الجاذبية من حيث الشدة
(ويصل هذا الرقم الى زهاء ٤٠١٠ بالنسبة للالكترونات) . غير أن حجم
الكون يتزايد بشكل مستمر ، على نحو ما أوضحنا في القسم (٥ - ٥)
وبالتالي يبدو هذا التطابق غارضا ويعزى الى تصادف وجودنا في هذا الوقت
بالذات دون غيره . وسوف نورد في القسم (٧ - ٣) تفسيراً لهذه
المصادفة . ولكن ديراك لم ينظر الى العلاقة بين الكميتين كمصادفة
عارضة . بل انه افترض أنها علاقة مستمرة في كل العصور والأزمان ،
ومن بين السبل التي تكفل ذلك هو أن تتضاءل قوة الجاذبية مع الوقت .
ويقودنا ذلك الى كون يشبه النموذج الثاني لفريدمان ولكن بمعدل تمدد
مضاعف (ومن ثم فهو أقدر على الإفلات من الجاذبية) ، وبالتالي يقل عمر
هذا الكون الى نصف عمر نموذج فريدمان ، مما يفجر مشكلة زمنية ،

لأننا لو سلمنا بمعدل التمدد الحالى فهذا يعنى أن نموذج ديراك يقضى بأن عمر الكون يقل عن عشرة بلايين سنة ، بينما تفيد كل تقديرات وقياسات التطور بأن المجرة كانت موجودة قبل عشرة بلايين سنة على الأقل ، ومع ذلك فقد قام باسكوال جوردان (Pascual Jordan) وفيما بعد كاول برانز Carl Brans وروبرت ديك Robert Dicke بتطوير فكرة ديراك وتحويلها الى نظرية كاملة مازالت تشكل منافسة لنظرية اينشتين .

وانطلاقا من نظرية أخرى مختلفة تماما توصل عالم الفلك البريطانى فريد هويل Fred Hoyle وزميله الهندى جساياتن نارليكار Jahant Narlikar الى نظرية للجاذبية على درجة كبيرة من التماثل مع سابقتها وتتسم بأن عجلة الجاذبية ترتفع أيضا بالزمان وبأن كتلة الجسيمات تستنتج من التفاعل مع المادة البعيدة ، بنفس أسلوب ماخ . علاوة على ذلك فقد أدخل ديراك ذاته مؤخرا ، وهو يناهز الخامسة والسبعين من عمره ، تعديلات على الأفكار التى كان قد طرحها فى عام ١٩٣٧ وحولها الى نظرية كاملة من قبيل نظرية برانز - ديك ، وتوصل بذلك الى نتائج مختلفة مما حققه فى أعماله السابقة . وتتعرض كل هذه النظريات للتمحيص نتيجة ما يتحقق من مشاهدات فى المجموعة الشمسية ومن قياسات لحركة الكواكب ، والتى قد يتعين ادخال تعديل طفيف عليها فى حالة تبين تناقص معامل الجاذبية بمعدل بطيء . ومن المتوقع أن تسفر المشاهدات الجارية على مدى السنوات القليلة القادمة عن كشف أى تغير ملموس فى قيمة عجلة الجاذبية (ج) .

الباب السادس

البداية والنهاية

وقد أوضحنا في الباب الثالث أن قوانين الفيزياء لا تميز بين اتجاهات الزمن ، وإذا كان عدم التناظر الزمني يعد من السمات البارزة في حياتنا اليومية ، حيث يتجلى في عدد كبير من الظواهر المختلفة مثل مسلك الغازات وتبدد الحرارة وانتشار الموجات ، فلا مجال لأن يعزى إلى أى من الخصائص الأصلية للمنظومة المعنية . وبفضل الأسلوب العشوائى فى تكون المنظومات الفرعية ، فإن عدم التناظر الزمني يفرض فى جميع الأحوال من خارج المناطق شبه المعزولة فى الكون والتي تنفصل عن البيئة الأساسية فى ظل حالة من عدم التوازن .

وتفيد الدراسة المتأنية بأن معظم المنظومات الفرعية تنتمى إلى سلسلة هرمية ما ، ويعد مثال مكعب الثلج المشار إليه فى القسم (٣ - ١) تجسيدا جيدا لذلك . فعندما يوضع مكعب من الثلج فى كوب به ماء فى درجة الفليان ، تتكون بذلك منظومة فرعية وينشأ عدم تناظر زمنى لأن حالة الانتروبيا المنخفضة لمحتويات الكوب ستتحول ، على أرجح الاحتمالات ، إلى حالة من التوازن نتيجة تكون مياه دافئة منتظمة الحرارة ؛ لقد نشأ عدم التناظر الزمني وفرض على المنظومة بسبب ذات العامل الذى أوجده ، أى بسبب عشوائية عملية التكون وليس لأنها وقعت فى بداية عملية تذبذب بالغة الندرة . والسؤال الآن هو كيف تحقق عد ؛ التوازن الذى أتاح أصلا تكون عنصرى محتوى الكوب بدرجتى حرارة مختلفتين ؟ وقد تكون الإجابة فى هذه الحالة هى « الثلجة » ، والثلجة هنا تعد بمثابة منظومة فرعية تستهلك طاقة لتبقى على الدوام فى حالة عدم توازن . وتعد عملية التغذية بالطاقة هى الأخرى منظومة فرعية للسبب التالى : يقتضى توليد الطاقة وجود عملية احتراق لنوع ما من الوقود (زيت أو فحم على سبيل المثال) . وتتكون بذلك منظومة تتسم بدرجة عنيقة من عدم التوازن ولكن سرعان ما تتحول هذه المنظومة إلى التوازن بسبب الاحتراق . ويرتهن عدم توازن الوقود بالأسلوب الذى تكون به هذا الوقود أصلا ، فالوقود الحفرى على سبيل المثال مصدره بيولوجى . وتتسم كل المنظومات

الفرعية البيولوجية بأنها تعمل في ظل حالة من عدم التوازن الشديد ،
وتمتد في بقاء هذه الحالة على ضوء الشمس وحرارتها ولا شيء غير ذلك .
وهنا يعني ان الشمس لو انطقت فسوف تتوقف كل صور الحياة على
الأرض .

وترتبن كذلك طاقة الرياح وطاقة الموجات على الاشعاع الشمسي
دون غيره ، حيث يرجع مصدرهما الى عدم التوازن الذي يتسم به الغلاف
الجوى للأرض . والناسم عن التوزيع غير المنتظم للأنسمة الساقطة على
سطح الأرض . ولو تفكر المرء قليلا فسوف يكتشف أن معظم حالات عدم
التناظر الزمني على الأرض مصدرها هو عدم توازن « الضوء الشمسي »
هذا ، ومن أمثلة تلك الحالات : الأنشطة البيولوجية كلها والموت ودوبان
الثالوج والعواصف الكهربائية والتيارات المائية في المحيطات .

غير أن هناك بعض ظواهر عدم التناظر التي لاتعزى الى الضوء
الشمسي وحده ، مثل ظواهر ثورة البراكين والمد وانجرز وكلها تأتي
(الى حد ما على الأقل) نتيجة « إعادة ترتيب » هي تأثير الجاذبية . علاوة
على ذلك ، تتسم شتى أنواع العناصر المشعة بأنها في حالة عدم توازن بين
ويكتسى مصدرها قدرا من الأهمية وسوف نتناوله الآن بالمناقشة بشيء من
التفصيل .

وقد تحدثنا في القسم (٥ - ١) عن وجود مصنع كوني لانتاج
النوى الذرية المعقدة . ومن الصور المقترحة لمثل هذا المصنع كرة اللهب
الموجودة في الانفجار العظيم ، غير أن الحسابات أظهرت أن نسبة انتاج
العناصر الثقيلة بهذه الطريقة لا تتناسب مع ما نراه حاليا من نسب غزيرة
لهذه العناصر ، ولما كان من المستبعد أن تكون النوى المعقدة قد تكونت
في وقت الانفجار العظيم ، فلابد أنها نشأت بعد ذلك في مكان ما ، فإين
يقع هذا المكان ؟ ومن الأماكن المقترحة لهذه المهمة ما أشرنا اليه آنفا وهو
جوف النجوم ، حيث تكون عملية بناء العناصر مسئولة عن عملية تحرير
الطاقة التي توفر الضوء النجمي . وثمة اعتقاد سائد حاليا بصفة عامة بأن
النجوم الثقيلة تمثل المصنع الرئيسي لانتاج العناصر المعقدة ، ويتم
السيناريو بصورة تقريبية على النحو التالي : تبدأ النجوم عادة من
الهيدروجين حيث تتم تدريجا عملية اندماج لذرات هذا الغاز لتتكون ذرات
الهليوم وذلك خلال مرحلة استقرار هادئة (وتعد شمسنا حاليا في
منتصف هذه المرحلة) ، ومع الوقت ترتفع درجة حرارة الهليوم بدرجة
كافية تتيح بناء عناصر أكثر تعقيدا (وبصفة أساسية الكربون) ،
وتستمر هذه العملية بشكل تصاعدي وكلما انتقلت العناصر من مرحلة

لمرحلة ازداد تعقيد بنيتها ٠٠ وتتسم تفاصيل هذه السلسلة من التفاعلات بأنها بالغة التعقيد وهي تدخل في اختصاص علم الفيزياء النووية ، ومع مرور الوقت تتكون في هذه النجوم نسبة صغيرة من العناصر الثقيلة ، وتعد العناصر الأكثر ثقلا (مثل اليورانيوم) بمثابة « خسارة » في طاقة النجم لأن نوى هذه العناصر تحرر الطاقة اذا تعرضت للانشطار ، بخلاف العناصر الخفيفة التي تولد الطاقة خلال عملية عكسية هي عملية الاندماج .

والسؤال المطروح الآن هو كيف يتسنى خروج هذه العناصر الثقيلة الى المناطق المحيطة في المجرة ؟ ، ومن الآليات المشهودة في هذا المجال تبرز الانفجارات السوبرنوا Supernova ، وهي انفجارات مروعة جبسارة تفتت الجانب الأعظم من النجم وتصف بمحتوياته وتحرر مقدارا من الطاقة يصل الى ملايين مثل المعدل المنتظم المنبعث من النجم على هيئة ضوء . ولحسن الطالع ، فان مثل هذه الأحداث تعد بالغة الندرة ، ويعتقد أن أحد هذه الانفجارات السوبرنوا وقع - فيما مضى في مجرتنا ورصد علماء الفلك الصينيون في عام ١٠٥٤ على هيئة نجم يسطع بنفس درجة بريق كوكب مثل الزهرة Venus وقد بدأ هذا البريق الساطع يخبو بعد بضعة أيام . أما ما تبقى من هذا النجم حاليا فهو جسم غير منتظم الشكل يطلق عليه اسم سديم العقرب (Crab nebula) ، ويتكون من كتلة من الغاز تندفع بسرعة فائقة من جسم صغير يقع بالقرب من مركز السديم ، ويعتقد أنه نجم نتروني .

وبما أن مثل هذه النجوم المندثرة قد لفظت عناصرها الثقيلة بهذه الطريقة وعصفت بها الى المجرة ، فانها تكون بذلك قد زودت هذه البيئة بكميات طفيفة من المادة التي تدخل بعد ذلك في تكوين جيل جديد من النجوم الغنية بهذه العناصر الجديدة ، وتتوالى المسألة من جيل الى جيل . ولا يزيد عمر شمسنا عن نصف عمر الكون أو أقل ، ولذلك فقد كانت هناك فسحة كبيرة من الوقت لحدوث مثل هذه الانفجارات - مهما كانت نادرة - وبالتالي لتزود المجرة بكل ما نراه حولنا من عناصر ثقيلة . وأنه ليمتد على الدهشة أن الكربون (وهو من العناصر الأساسية للحياة الأرضية) الموجود في الجسم البشري ما هو الا الحطام الناجم عن النهاية العنيفة التي تعرضت لها أجيال سابقة من النجوم في العصور الماضية

وفي اطار هذه الصورة لأسلوب تكون العناصر وتوزيعها فان عدم التوازن الذى تتسم به العناصر المشعة على الأرض - والذى يؤدى الى تحرير بعض الطاقة المستخدمة فى توليد ما نستخدمه من كهرباء - يعزى الى الظروف السائدة فى جوف النجوم الميتة منذ امد بسيد . ومن ثم ، فان معظم عدم التوازن المحيط بنا والذى يتيح لبيئتنا أن تتغير مع الزمان ، يعزى وجوده بطريقة أو بأخرى الى عملية تكون الشمس والنجوم وتطورها . ويتكرر هذا الاطار برمته فى الكون كله . وبالتالي يعيش الكون فى ظل حالة من عدم الاستقرار ، مع وجود نطاقات شاسعة من الفواغ البارد الذى تتخلله النجوم البيضاء الساخنة الموزعة بشكل عشوائى . ومن شأن محطات توليد الطاقة الضخمة هذه أن تبث بصفة مستمرة الضوء النجمى . فى محاولة لاعادة التوازن وتحقيق الاتزان الحرارى .

ولقد أشرنا فى القسم (٥ - ١) الى عدم توازن الديناميكا الحرارية فى الكون والذى يتصل بما يعرف باسم تناقض أولبرز . غير أن هذا التناقض ما أن يوجد له سبيلا للحل حتى يلوح تناقض آخر ، اذ كيف حدث أصلا أن اكتسب الكون هذه الحالة من عدم الاستقرار ؟ وهذا هو السؤال ذاته الذى واجهناه بالنسبة للمنظومات الفرعية ، غير أننا لانستطيع هذه المرة أن نتمثل فى اجابتنا بالتدخلات الخارجية لأن الأمر يتعلق هنا بالكون كله ، وبالتالي ليس هناك « شئ خارجى » يمكن أن « يتدخل » .

ويمكن بالطبع تفويض المسألة من أساسيا بأن نزعِم ببساطة أن الكون نشأ بهذه الحالة من عدم التوازن منذ اللحظة الأولى للانفجار العظيم ، بيد أن هذا الرد له سمتان داخستان ، واحدة فلسفية والأخرى فيزيائية : أولا ، من مهام العلم والعلماء توفير التفسيرات لما تتسم به البيئة من سمات وخصائص ، والقول بأن الأمور هى على هذا الحال أو ذاك لأنها نشأت كذلك ، لا يشكل تفسيرا . وثانيا ، لأن هناك دلالات قوية مثل الاشعاع الحرارى الخلفى الكونى ، تفيد بأن الكون كان فى حالة توازن حرارى فى وقت ما فى الماضى ، ولو كان ذلك حقيقيا ، فكيف نشأ ما نراه حاليا من عدم توازن ؟ كيف يمكن أن يتحول نظام كونى مستقر الى نظام غير مستقر ؟ نحن نعلم أن التوازن مرتبط بالحد الأقصى من الانتروبيا أو عدم الانتظام ، فكيف يمكن أن يتحول كون يموج بالفوضى وعدم الانتظام الى كون مرتب منظم ، وفى الوقت الذى علمتنا فيه التحارب أن النظام قد يفسح المجال للفوضى ولكن العكس غير صحيح ؟

وللرد على هذا السؤال ينبغي أن نعود مرة أخرى الى المراحل الاولى المبكرة للتعدد وأن ندرس بدقة بعض العمليات الجارية فى كرة اللهب الأولى .

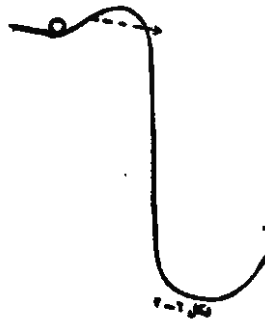
وينبغى أولا أن نفهم طبيعه عدم الاستقرار الكونى بمزيد من التفصيل : ينتج عدم الاستقرار هذا (فى جانب كبير منه على الأقل) من الضوء النجمى . تعد عملية انشطار نوى العناصر الثقيلة فى جوف النجوم هى مصدر الطاقة الاشعاعية . وعندما يندمج اثنان من نوى العناصر الخفيفة فان جانبا من الكتلة الاجمالية يتحول أيضا الى طاقة اشعاعية (وفقا لقانون اينشتين $E = mc^2$) ، وتتسرب هذه الطاقة ببطء من خلال الطبقات الخارجية للنجم الى الفضاء ، وتمثل هذه العملية زيادة فى الانتروپيا لأن الطاقة التى كانت حبيسة النوى تحررت وانطلقت فى الفضاء ، ويعد ذلك بمثابة زيادة فى الفوضى . أما النوى المندمجة فقد اكتسبت بتخلصها من بعض الطاقة ، قدرا اكبر من الاستقرار .

ويعد مبدأ اكتساب قدر من الاستقرار عن طريق التخلص من بعض الطاقة مبدأ عاما الى حد كبير . فلو درسنا حالة كرة موضوعة على قمة مرتفع (انظر الشكل ٦ - ١) ، فسنجد أنها تتسم بعدم الاستقرار ، فلو تعرضت لاية حركة طفيفة فسوف تنحدر الى اسفل ، مما يكسبها طاقة حركية على حساب طاقتها الكامنة الناجمة عن الجاذبية (ويمكن توضيحها بأنها الطاقة اللازمة لاعادتها الى قمة المرتفع) ، ومن شأن السرعة المكتسبة أن تجعل الكرة تعبر الوادى ثم تصعد على الجانب الآخر من المرتفع ، غير أنها ستفقد بعضا من طاقتها نتيجة الاحتكاك مع الأرض ومقاومة الهواء ، وستتحول هذه الطاقة المفقودة الى حرارة تتسرب الى البيئة المحيطة طبقا للقانون الثانى فى الديناميكا الحرارية ، مما يرفع الانتروپيا ، وهكذا ، ستفقد الكرة شيئا فشيئا طاقتها مع رواحها وغدوها حتى تستقر فى النهاية فى قاع الوادى ، وبالتالي ، فان ما كان لدى الكرة من طاقة على قمة المرتفع راح ثمنا لحالة الاستقرار التى اكتسبتها الكرة فى قاع الوادى ، لقد تحول النشاط المنظم للكرة الى نشاط غير منظم (على هيئة حرارة) تتمثل فى التحركات الذرية ، بما يتلام مع قانون زيادة الانتروپيا .



الشكل ٦ - ١ : عدم الاستقرار . تتسم الكرة الموضوعة اعلى المرتفع بعدم الاستقرار ، حيث ان أى خلل طفيف سيجعلها تنحدر تحت تأثير الجاذبية . ومع حركة الغدو والرواح سوف تلتف الكرة طائفتها (نتيجة الاحتكاك) الى ان تستقر في قاع الوادى .

ويمكن كذلك استخدام مثل الكرة لشرح مفهوم « شبه الاستقرار » (metastability) بصورة سهلة . فلو أن قمة المرتفع بها حفرة صغيرة (انظر الشكل ٦-٢) ووضعت الكرة في هذه الحفرة فانها ستكتسب نوعا من الاستقرار المحلى لأنها لو تعرضت لخلل طفيف لن تخرج من الحفرة ، فلو تحركت قليلا الى أحد الأجناب فسوف تعود الى الاستقرار فى مكانها ، أما لو تعرضت لدفعة قوية فسوف تخرج من الحفرة ثم تنحدر الى أسفل المرتفع . ويقال للكرة فى الكفرة انهالة فى حالة « شبه مستقرة » .



الشكل ٦ - ٢ : شبه الاستقرار . تحتمى الكرة من الانحدار خلف سائر صغير . ورغم انها فى حالة توازن ، الا انه استقرار نصعى ، لأنها لو تعرضت لدفعة قوية فسوف ترتفع فوق السائر ثم تنحدر الى الوادى . وتقرب هذه الحالة من الوضع فى الفيزياء الذووية حيث يمثل السائر التناثر الكهربى بين البروتونات ، اما الوادى فهو يجمد ما تتسم به للنواة من جاذبية قوية ولكنها قصيرة المدى . وبالتالي ، لو أن بروتونا اصطدم بالنواة بمعركة كافية فسوف يتقلب على الحاجز الكهربى (او يخرقه) ويسقط داخل النواة ، فاقدا طاقته على هيئة اشعة جاما .

ولعلنا نستعفى الآن عن الكرة بنواة واحدة من الذرات الخفيفة ،
ولتكن على سبيل التدقيق نواة هيدروجين ، وعن جاذبية الأرض (التى
تشد الكرة الى أسفل المرتفع) بقوة الجاذبية الشديدة لاية نواة أخرى .
والآن ، ماذا يحدث لو اقتربت النواتان من بعضهما بقدر كاف ؟ ان البروتون
(نواة الهيدروجين) يريد أن « ينحدر » الى داخل النواة الجاذبة (الوادي) ،
وربما كان له ما أراد لولا انه مشحون كهربيا ، حيث تتعرض هذه
الشحنة لمقاومة شديدة من جانب الشحنات المماثلة التى تحملها كل
البروتونات فى النواة الأخرى . ورغم أن قوة الجذب النووى تعد أشد
من قوة التنافر الا أن مجال تأثيرها قصير للغاية ، ويواجه البروتون صعوبة
بالغة فى الاقتراب بقدر يتيح له الدخول فى هذا المجال ومن ثم السقوط
داخل النواة ، وبالتالي يعد البروتون فى حالة شبه استقرار لأنه ممنوع
من السقوط داخل النواة بواسطة حاجز كهربى . ولو تعرض البروتون
لدفعة ضعيفة فسوف يرتد ثانيا ، ولكن لو كانت الدفعة شديدة فسوف
يتجاوز الحاجز ويسقط داخل النواة حيث « يندمج » مصدرا قدرا من
الطاقة (على هيئة أشعة جاما) . ويلتصق البروتون بالنواة وينتهى به
المآل الى حالة من الاستقرار فى قاع « الوادي » النووى .

ولا يتسنى لذرات الهيدروجين فى البيئة الأرضية أن تجد فى كل
مكان مصدر الطاقة القريب بدرجة كافية من حركتها الحرارية والذى
يمكنها من التغلب على الحاجز الكهربى . وبالتالي ، فرغم أن الهيدروجين
يعد بالتأكيد شبه مستقر ، فانه يحتاج الى درجة حرارة ضخمة لكى تكتسب
بروتوناته القدر الكافى من الطاقة الذى يتيح له التفاعل الاندماجى النووى .
والواقع أن هذه العملية تلقى نوعا من « المساعدة » عن طريق ميكانيكا
الكم ، حيث ان من شأن البروتون أن يأتى « بخدعة اختفاء » لمدة وجيزة
للفجأة ولكنها تكفى لأن يعبر مسافة قصيرة يعود الى الظهور بعدها على
الجانب الآخر من الحاجز ، وتعرف هذه العملية باسم « التأثير النفقى »
(Tunnel effect) . وحتى مع الأخذ فى الاعتبار بالتأثير النفقى فان
درجة الحرارة المطلوبة لكى يتحقق اندماج بروتونات الهيدروجين وتكون
نواة الهليوم ، تقدر ببضعة بلايين درجة . (الواقع أن هذه العملية ليست
عملية فردية ولكنها متعددة الأطراف ، حيث يقتضى الأمر أيضا اشتراك
نترولين فيها) . ويبحث ذلك على أن نستنتج أن درجة الحرارة الجوفية
فى نجوم مثل الشمس ، وهى فى مرحلة احتراق الهيدروجين ، تبلغ بضعة
ملايين درجة مئوية .

وبعد أن فهمنا الآن أن جانبها كبيرا من عدم الاستقرار الكونى يعزى
فى الواقع الى خاصية شبه الاستقرار التى تتسم بها بروتونات الهيدروجين،
نجد أنه من الضرورى أن نبحث لماذا يتألف الكون أساسا من بروتونات
الهيدروجين .

وإذا افترضنا أن الخطوط العريضة لنموذج الانفجار العظيم الساخن صحيحة ، فإن حالة المادة في المراحل المبكرة لابد أنها كانت تتمثل في مكونات فردية من المادة تتحرك كلها بشكل مستقل وبسرعات نسبية فيما بينها . ولابد أنه كان من شأن الحرارة المذهلة أن سحقت كل النوى ، بل ومكوناتها وفتقتها الى عناصرها الأولية تماما . ومن المرجح أن تكون حالة الديناميكا الحرارية لكرة اللهب الأولى متسمة بالتوازن المحلي ، لأن المادة كانت على درجة من الكثافة بحيث أنه رغم أن الكون كان يعتمد بسرعة عالية وتنخفض درجة حرارته بمعدل كبير ، كانت المادة تتأقلم على التو وباستمرار مع الظروف المتغيرة . ولكن بعد مرور بضعة مئات من الثواني لابد أن تكون الحرارة قد انخفضت بدرجة تتيح للبروتونات والنيوترونات المتحركة بشكل مستقل أن تندمج معا وتكون نوى معقدة دون أن تتعرض في الحال لعملية تحلل نتيجة الاشعاع الكثيف . ولاشك أنه كانت تحدث بعض حالات التفتت النووي . وتفيد الحسابات ، على نحو ما أوردنا في القسم (٥ - ٤) ، بأن نحو ربع عدد البروتونات ينتهي به المآل الى تكوين نوى الهليوم مع نسبة اضافية بالغة الضالة من عناصر أخرى مثل الديتريوم والليثيوم . غير أن وجود الحاجز الكهربى يكتسب هنا تأثيرا جوهريا ، فمن غير الوارد أن تكون الأمور قد استمرت على النحو الذى وصفناه الا لفترة زمنية محدودة كانت فيها حرارة البلازما تعد فى آن واحد منخفضة بالقدر الذى يتيح توقف عملية تفتت وتحلل نوى الهليوم المتكون ، ومرتفعة بالقدر الذى يساعد البروتونات على التغلب على الحاجز الكهربى . ولكن مع استمرار انخفاض الحرارة كان من شأن الحاجز الكهربى ، بعد مضي فترة معينة ، أن أوقف عملية الاندماج ، وتجمدت البروتونات على حالتها شبه المستقرة لتتحول بعد ذلك الى ذرات هيدروجين .

ولعله قد اوضح الآن أسلوب انتقال الكون من حالة التوازن الى عدم التوازن . ولو كان الكون قد بقى على هيئة كرة من اللهب لما كان هناك عدم تناظر زمنى على النحو الذى نراه حاليا فى العالم الحقيقى . ولكن ما شهدته كرة اللهب من ظروف متغيرة أثناء تمددها هو الذى عدل شكل التوازن فى المادة من جسيمات فردية تتحرك بصورة مستقلة الى نوى ثقيلة ويبحث ذلك على الاعتقاد بأن عدم توازن الكون انما يكمن فى تمدده . ولقد كان هذا التمدد على وجه التحديد هو الذى خفف من غموض تناقض أولبرز الذى ناقضناه فى الباب الخامس .

ولعلنا ندع الآن المضامين الكونية بصفة عامة والانفجار العظيم وعدم التناظر الزمني فيما يتعلق بالديناميكا الحرارية ، ونركز اهتمامنا على الحركة الموجية المؤخرة - التي تحدثنا عنها في الباب الثالث - والتي تشكل ظاهرة أخرى لعدم التناظر الزمني .

في عام ١٩٤٥ نشر الأمريكيان جون ويلر John Wheeler وريتشارد فينمان Richard Feynman ، وهما اثنان من أبرز علماء الفيزياء النظرية في سنوات ما بعد الحرب ، تفسيراً جديداً ، بسيطاً وشيقاً ، يوضح لماذا تنتشر الموجات الكهرومغناطيسية في الكون للخارج دائماً ، أو لو شئنا صياغة السؤال بشكل أوضح ، لماذا تنتقل الاشارات اللاسلكية للأمام دائماً وليس للخلف بالنسبة للوقت ؟ ومن العجيب أن الدافع وراء نظرية ويلر - فينمان لم تكن متصلاً بشكل مباشر بعدم التناظر الزمني ولكنه كان يتعلق ببنية الجسيمات الأولية المشحونة كهربياً . وكانت فكرة هذين العالمين تتمثل في التخلص من بعض الصعوبات الرياضية المويضة التي ظلت على مدى أحقاب تشكل عقبات مزعجة تعوق وصف التفاعل بين الجسيمات المشحونة كهربياً والمجال الكهرومغناطيسي . وقد حققت النظرية الجديدة بعض النجاح في هذا الاتجاه ، غير أن أية محاولة لاستنتاج تطبيق لها بصفة ميكانيكا الكم كانت تقتضي حتماً العودة مرة أخرى لادخال تلك الصعوبات الرياضية في الحساب . ولذلك فقدت النظرية جانباً كبيراً من ميزتها الأصلية .

ومع ذلك فقد شكلت فكرة ويلر وفينمان البديعة اطاراً مبهماً لكافة أنواع التكهن بشأن عدم التناظر الزمني وعلم الكونيات ، لاسيما بالنسبة لعلماء الكونيات أنفسهم . وجاء بعد ذلك فريد هوبل وجاينت نارليكار ، وكانا من أشد مؤيدي نظرية ويلر - فينمان ، ووسعا نطاق مفهومهما الأصلي ليشمل نظرية للجاذبية (نوقشت بايجاز في القسم (٥ - ٥)) ، بل ونظرية للجسيمات الأولية . ولن نفقد كثيراً عند هذه الأفكار الموسعة وسنكتفي هنا بدراسة واحد من الخطوط العريضة لفكرة ويلر وفينمان الأصلية ذاتها .

ولعلنا نذكر بأن ماكسويل كان أول شخص يدمج القوانين المعروفة للكهرباء والمغناطيسية في قانون موحد يتعلق بالمجال الكهرومغناطيسي ويفيد بوجود الموجات الكهرومغناطيسية . ويعد التيار الكهربى هو آلية انتاج هذه الموجات . وقد كشف لنا العلم أن التيار الكهربى ينجم عن

حركة الجسيمات المشحونة كهربيا ، مثل الالكترونات • ولكي يصبح الجسيم المشحون مصدرا للموجات ، ينبغي أن يكون متعجلا • ومن شأن المجال الكهرومغناطيسي أن يعمل على التاقل مع هذه الحركة المتغيرة للجسيم مما يسفر عن نوع من الخلل ينتشر على هيئة موجات ، وتحمل هذه الموجات قدرا من الطاقة ، ولذلك يقال ان الجسيم المتعجل يشع أو يبعث اشعاعا • ولاتنبعث هذه الطاقة الاشعاعية بدون تعويض ، حيث يكون ذلك على حساب طاقة الجسيم مما يؤدي الى ابطاء حركته المتعجلة ، ويولد هذا التأثير الابطائي نوعا من القوة على الجسيم تسمى قوة الابطاء الاشعاعي (radiation damping force) وتتسم هذه القوة في وقع الأمر بأنها بالغة الضالة • ويندرج التفاعل بين المجالات الكهرومغناطيسية والجسيمات المشحونة كهربيا المتحركة فيها ، في اطار فرع من الفيزياء يعرف باسم الديناميكا الكهربائية •

ولما كانت الديناميكا الكهربائية القائمة على نظرية ماكسويل تتسم بتناظر زمني تام ، فمن الواذر أن تجرى هذه العملية بالمعكوس ، أى ان تصطلم بعض الموجات الكهرومغناطيسية بجسيم مشحون كهربيا ومتعجل فيمتصها ، وتلك ظاهرة معروفة أيضا • ولسنا هنا بصدد الحديث عن مدى صحة الحركة المعكوسة في الديناميكا الكهربائية ، ولكن ما يعنينا هو الآتي : من شأن الجسيم الذى يتعرض لعملية تعجيل أن « يسبب » فيما يبدو انبعاث موجات متأخرة في اطار مترابط من الحركة ينتشر للخارج من جوار الجسيم ، ولكن من غير الواذر أن تحدث العملية العكسية أى أن تتجمع موجات من مواقع بعيدة في الكون وفي اتجاهات مختلفة وتحرك للدخل في اطار مترابط صوب الجسيم لتتعرض للامتصاص في نهاية المطاف ، أى أنه يمكن القول باختصار ان الموجات دائما تنبعث منتظمة ، ولكن عند الامتصاص ، لا تمتص سوى الموجات غير المنتظمة • ومن أساليب التعبير عن ذلك أيضا أن نقول ان تعجيل الجسيم المشحون كهربيا يسبب انبعاث موجات في المستقبل وليس في الماضى • (ويشكل تعبير « موجة منبعثة في الماضى » اصطلاحا زمنيا عكسيا يستخدم لوصف حالة موجة قادمة من الماضى وتعرض للامتصاص ، ولا يمثل استخدام هذا المصطلح تيسيرا لغويا فحسب بل انه يساعد على تلافى استخدام تعبير قد يكون من شأنه اثاره اللبس أو علم ابراز التناظر الزمني فيما هو آت) •

ولم يغير ويلر وفينمان الصيغة الأساسية لنظرية ماكسويل ولكنهما توصلا الى سبب (محتمل) أعمق يفسر لماذا يحدث الاشعاع في اتجاه المستقبل فقط ، بدلا من مجرد رفض القول بأن الكون قد « نشأ على هذا

النحو ، • وقد حققا ذلك عن طريق دراسة ما يمكن أن يحدث لو أن جسيما مشحونا كهربيا ومتعاجلا أصدر اشعاعا « متساويا » في الماضي والمستقبل . ولا شك أن ارسال اشارات الى الماضي يتضمن كافة أنواع التناقضات من قبيل ما تحدثنا عنه بالنسبة للتاكيونات في القسم (٥ - ٢) • ومن الواضح أن مثل هذا النوع من المسلك من جانب جسيم مشحون واحد ، يتناقض تماما مع الواقع • غير أن فكرة ويلر وفينمان تتمثل في أنه قد يكون هناك تحرك « جماعي » لعدد من الجسيمات المتماثلة بحيث تتخذ الموجات المنبعثة منها ، لو نظرنا إليها بشكل جماعي ، شكلا رجعيا تاما لا يختلف عن الشكل المألوف (وهو الاتجاه للمستقبل أو الانبعاث للخارج) ، حتى لو كانت كل منها تنسم على الصعيد الفردي بتناظر زمني .

وكيف تأتي ذلك ؟ كانت الآلية المستخدمة في اثباتات فكرة ويلر وفينمان هي ظاهرة « التداخل » المعروفة • ومن الأساليب الجيدة لبيان تأثيرات التداخلات الموجية أن ندرس الموجات المائية ، فلو أسقطنا حجرين قريبين من بعضهما على سطح بركة ماء ساكنة ، فلن تنتشر الموجات الخاصة بكل حجر بشكل مستقل بل ستتداخل الموجات مع بعضها وتكون شبكة متقاطعة بها بروزات وتجاويف محلية ، وأينما التقت بروزات المجالين الموجيين أو تجاويفهما سيدعم بعضها البعض ، ولكن اذا صادفت بروزات واحد من المجالين تجاويف المجال الآخر فسوف يلاشى بعضها بعضا وبطل سطح الماء هادئا نسبيا •

ولا يختلف الأمر بالنسبة للموجات الضوئية ، فما الألوان التي نراها تنبعث من على سطح عاكس تملوه طبقة زيتية رقيقة الا نتيجة تداخل بعض أطوال موجات (أى ألوان) الضوء الأبيض الساقط عليه ، فمنها ما يعزز بعضها بعضها ومنها ما يلاشى بعضها بعضا •

وقد اكتشف ويلر وفينمان نتيجة مذهشة تتمثل في الآتي : نفترض أن جسيما منفردا مشحونا أطلق في مكان فراغ بحيث تنبعث منه الموجات على هيئة نصفين متناظرين ، نصف متقدم صوب الماضي ونصف متأخر صوب المستقبل • ولو أن الجسيم ذاته وضع بعد ذلك في صندوق غير منفذ للضوء ، فلن يشع سوى موجات متأخرة صوب المستقبل • ولو انفتح الصندوق ، فسوف تعود الموجات التقدمية للظهور !

ماذا حدث داخل الصندوق ؟ لقد تحركت الموجات المنبعثة من الجسيم المتعاجل وانطلقت للخارج الى أن اصطدمت بالسطح الداخلى للصندوق • ونتيجة لذلك تحررت الالكترونات المشحونة من ذرات الصندوق • وكان

من شأن الموجة المتأخرة أن تصطدم بالصندوق بعد وقت وجيز من مغادرتها جوار الجسم ، أما الموجة التقدمية فهي تفرغ الصندوق « قبل » حتى أن يكون الجسم قد تحرك ! وبالتالي - ومن قبيل التناقض - فمن شأن الالكترونات ان تتذبذب بشكل سابق على حركة الجسم . وقد يبدو نوع حدوث رد فعل في الأسطح الداخلية ، للصندوق في وقت سابق لأوانه ، شيئا غريبا ، لأن السبب ، في عرف الإنسان وخبراته ، لابد دائما أن يسبق التأثير . غير أن الفارق بين السبب والتأثير لا يكتسب في علم الفيزياء مثل هذه الدرجة من الأهمية ، وكل ما يهم هو التفاعل . بل ومن الجائز فيزيائيا أن يتبادل السبب والتأثير موقعيهما ، أو حتى أن يأتي السبب بعد التأثير ، شريطة أن يكون كل شيء متسقا في ذاته .

ومن شأن ذبذبة الكترونات الصندوق (في كلتا الحالتين قبل تحرك الجسم المشحون الأساسي وبعده) ، أن تولد موجات ، وسوف تشع هذه الموجات كذلك صوب الماضي والمستقبل معا ، وفقا لافتراض ويلر وفينمان . وبالتالي سوف يتكون داخل الصندوق اطار معقد من الحركة الموجية التقدمية والمتأخرة ، وسوف تتداخل الموجات مع بعضها بشكل بالغ التعقيد . وكانت السمة البارزة لأعمال ويلر وفينمان هي التوصل بعملية حسابية بسيطة الى اثبات أن الموجات التقدمية المنبعثة من الكترونات الصندوق ستلاشي الموجات التقدمية الواردة من الجسم الأصلي ، شريطة أن يكون غير منفذ تماما (أى يمنع تماما دخول أية موجات خارجية الى الصندوق) . علاوة على ذلك ، فمن شأنها أيضا ان تعزز الموجات المتأخرة الصادرة من الجسم الأصلي ليصل بها الى كامل قدرتها ، أما تأثير موجات رد الفعل المنبعثة من الصندوق على كل الجسيمات المشحونة فيتمثل في « الغاء » كل التحركات المسبقة التي تجرى قبل تحرك الجسم الأصلي ، وفي أن تولد على وجه التحديد القوة الاشعاعية الماصة الصحيحة التي تؤثر على الجسم الأصلي والتي تؤدي الى انتقال الطاقة من الجسم الى حوائط الصندوق . وبذلك يبدو المسلك الديناميكي الكهربى لهذه المنظومة ، بالنسبة لمراقب داخل الصندوق ، متفقا تماما مع معارفنا ومشاهدتنا اليومية . أما لو كان الصندوق شفافا ولو بدرجة ما ، فسوف تظل هناك تأثيرات تقدمية تناقضية .

وبعد أن قدما هذا البيان لكيفية توليد موجات متأخرة تماما من موجات متناظرة زمنيا ، باستخدام رد فعل صندوق ، قدم ويلر وفينمان شرحا للخطة التي يتدخل فيها عدم التناظر الزمنى . فلو افترضنا أن مسلك المنظومة ككل يتسم بالتناظر الزمنى ، فهذا يعنى امكان استخدام المجال

الموجي المعكوس لتوليد موجة تقديمية نامة من المصدر . ويكمن مفتاح عدم التناظر في آلية « الامتصاص » ، فلما كان الصندوق غير منفذ ، سوف تمتص الموجات المصطنعة بالأسطح الداخلية ، وهذا يعنى فى الواقع أنها سوف تتحول الى حرارة . وسوف يكون من شأن الالكترونات المتذبذبة أن تفرع الذرات فى الحوائط وتبعث فيها حركة حرارية - أما الحرارة الناجمة عن تلك العملية فانها تتبدد عبر جدران الصندوق وفقا للقانون الثانى للديناميكا الحرارية ، ولكي يحدث التأثير العكسى ، وتتكون موجات تقديمية ، لابد أن يصطدم عدد فائق من الذرات ، بطريقة ملائمة ، حيث ينبغى أن تنقل هذه الذرات حركتها الحرارية الى الالكترونات فى التوقيت السليم الذى يجعلها كلها مجتمعة وتشع موجة مترابطة فى اتجاه الجسم الأسمى داخل الصندوق . ولو عدنا الى المبادئ المشار إليها فى الباب الثالث فسوف نجد أن مثل هذا الوضع يعد بعيد الاحتمال للغاية ، ان لم يكن مستحيلا .

وهكذا ، فقد تمكن ويلر وفينمان - بادخالهما آلية رد فعل امتصاصى- من أن يضعوا مصدرا عدم التناظر الزمنى للاشعاعات الكهرومغناطيسية على عاتق الديناميكا الحرارية تماما . أما عن كيفية ذلك ، فسوف نلاحظ أنه ، لو كان الصندوق غير منفذ تماما ، يمكن الاستعاضة عن تأثير المجالات داخل الصندوق بالتأثير المباشر عن بعد فيما بين الجسيمات المشحونة ، ولا يعد هذا التأثير المباشر فيما بين الجسيمات من النوع الفورى الذى يميز نظرية نيوتن للجاذبية ، ولكنه تأثير مؤجل ينتشر بسرعة الضوء ، ويعمل علاوة على ذلك فى كلا الاتجاهين من حيث الزمان ، للأمام وللخلف . ويتضح مما تقدم أن مثل هذا المبدأ التأثيرى ، رغم أنه قد يبدو غريبا بعض الشيء ، لا يختلف ، داخل صندوق غير منفذ ، عن نتائج نظرية ماكسويل القائمة على انتشار صور الخان عبر مجال ما . غير أن ميزة وصف الديناميكا الكهربائية بشكل مقصور على التفاعل بين الجسيمات تتمثل فى أنه يعود بمسألة عدم التناظر الزمنى الى حظيرة حركة الجسيمات المتعددة ، أو الديناميكا الحرارية ، حيث يسهل فهمها . ولم يعد هناك داع ، وفقا لهذه النظرية ، لمحاولة تبرير عدم التناظر الزمنى للموجات فى المجال الكهرومغناطيسى ، لأنه « ليس » هناك مجال بالمرءة .

ولاشك أنه لا مجال لأن تؤخذ نظرية ويلر وفينمان بإخذ الحسب الا لو تشابه العالم الحقيقى فى مسلكه مع مكان مغلق منعزل وغير منفذ تماما ، والا كان علينا أن نواجه التأثيرات التقديمية الضارة . وليس هنا بالتاكيد شيء غير منفذ تماما فى الكون فى المحيط القريب من مجرتنا

وبوسع الضوء أن ينتقل لمئات الملايين من السنين دون أن يصادف كمية تذكر من المادة . أما عن احتمال امتصاصات كل الإشعاعات في المستقبل فتلك مسألة مرهونة بحالة الكون في المستقبل البعيد . وبالتالي ، فإن مواصلة الحديث عن نظرية الامتصاص هذه سينتقل بنا الى مجال آخر هو كيف ستكون نهاية الكون ، وبذلك يمكن القول بشكل ما ان المسلك المحل للإشعاع الكهرومغناطيسى يتيح لنا « القاء نظرة » على المستقبل والتكهن بما يمكن أن يحدث للكون ، وهذا يعنى أن عملية حسابية بسيطة ، تجرى فى إطار نماذج فريدمان للكون ، تفيد بأن هذا الكون سيؤول فى نهاية المطاف الى الانقباض .

٦ - ٣ موت الكون

ومن الغريب حقاً أن يكون وقع عدم التناظر الزمني على الفكر البشرى هو أن معظم الناس يؤمنون بأنه قد جاء وقت فى الماضى شمسهد نشأة كل شيء ، ولكن نادراً ما يفكر أحد فى أنه سيأتى وقت فى المستقبل ينتهى فيه كل شيء ، ولكن من وجهة نظر الفيزياء ، يمكن لأى تطور أن يجرى بشكل معكوس ، وبالتالي تتلخص مسألة « الكون المقبل على نهاية » فى عملية تقرير ما اذا كان من شأن حركة الكون على النطاق الواسع أن تأتى بعكس ما يشهده حالياً من تطور .

وقبل أن نتحدث عن طبيعة مثل هذه النهاية ، قد يكون من المفيد وصف الظروف التى يتحتم توافرها لحدوث هذه الكارثة . ولو عدنا الى القسم (٥ - ٢) ، وعلى وجه التحديد للشكل (٥ - ٥) فسوف نجد أن هناك احتمالين لمستقبل الكون وفقاً لنماذج فريدمان ، حيث يفيد النموذجان (١) و (٢) بأن الكون سيواصل تمدده الى الأبد ، بينما يوضح النموذج (٣) أن هذا التمدد سيتوقف عند مرحلة ما ثم ينقلب الى الانكماش ، هذه ستتنتهى بتقلص الكون والوصول به الى الفذائة النهائية الانكماش ، هذه ستتنتهى بتخلص الكون والوصول به الى الفذائة النهائية الشبيهة بتلك التى بدأ بها تمدد الكون . وهكذا نجد أن النموذج الذى له نهاية من حيث المكان ، له أيضاً نهاية من حيث الزمان ، وهو يتسم بالتأكيد بتناظر زمنى . أما الظرف الضرورى لبدء عملية الانقباض فهو مماثل فى الواقع مفهوم نصف قطر شفارزشيلد بالنسبة للثقوب السوداء ، ولو كانت كثافة الكون كبيرة بدرجة كافية فلا مفر من حدوث الانقباض .

وفي العصر الحالي ، تبلغ القيسة الحرجة لكثافة الكتلة اللازمة لعودة الكون الى الانكماش زهاء ١٠ - ٢٩ جم / سم^٣ وهو ما يوازي في المتوسط ذرة واحدة لكل مائة متر من الفضاء في الكون ، وتقيد التقديرات الحالية بأن كثافة المادة الضوئية (كل النجوم وما شابهها) تناهز ١/٨ ، فقط من هذه القيمة . وهذا يعني أن الأمر صار يتعلق بمقدار ما قد يحتوي الكون من صور أخرى من المادة أو الطاقة . فمن الوارد على سبيل المثال أن يكون الفضاء فيما بين المجرات يحتوي على كمية هائلة من المادة أو أن تكون المجرات تشتمل على عدد بالغ من النجوم غير المرئية أو الثقوب السوداء . علاوة على ذلك ، فمن الجائز أن يكون الكون مليئا بكمية ضخمة من موجات الجاذبية ، أو النيوتريونات ، وكلاهما من شأنه أن يتفاعل مع المادة بدرجة من الضعف تجعل مثل هذه الخلفية غير ملموسة بالمرءة تقريبا .

وتسترعى مسألة تقرير دور الطاقة المستمدة من هذين المصدرين ، اهتماما كبيرا من جانب علماء الفلك . ولما كانت العقبات التقنية والعوامل المعثرة متباينة ومتعددة ، كثيرا ما تتغير الآراء وتتقلب سواء لأسباب شهودية أو فلسفية . وقد شهد مطلع السبعينات تحركا عاما للآراء صوب الكون الكثيف ، غير أن هذا التحرك انقلب مؤخرا بشكل حاد .

ولا يتوقف الأمر عند مجرد قياس الكثافة فحسب ، حيث يمكن بشكل مباشر قياس معدل تباطؤ التمدد الكوني من واقع المجال المتحرك للمجرات ذاتها (ولعلنا نتذكر أن النظر الى الأبعاد السحيقة في الكون يوفر مؤشرا عن شكل التمدد في الماضي البعيد بما يتيح الفرصة لتقدير معدل التباطؤ) . غير أن مثل هذه القياسات من شأنها في الواقع أن تعطي صورة مضخمة لمعدل التباطؤ بسبب التغير البطيء في درجة بريق المجرات ، ولذلك فقد يكون من الأحصر أن نقول أن مجال المناقشة بالنسبة لعودة التقلص ، مازال مفتوحا .

وقد تحدثنا في القسم السابق عن نظرية ويلر - فينمان وشرط صلاحيتها ، الذي يتمثل في عدم الشفافية التامة للكون ، وهو شرط مرهون بالحركة الكونية في المستقبل البعيد ، وهذا يعني أن نموذجي فريدمان القائم على التمدد اللانهائي للكون يتفقان مع هذا المطلب . أما النموذج الثالث الذي سيمود الى الانكماش فهو نموذج مانع تماما لنفاذ أية اشعاعات . ومن هذا المنطلق يمكن القول بأن الدلالة المؤيدة لفكرة كون محدود الكثافة وامتداد للأبد ، دلالة تتعارض مع نظرية الامتصاص .

ولو بدأ الكون في الانكماش فمن المتوقع أن يعود الى ظروف كرة اللهب التي تلت الانفجار العظيم . وسوف تجرى هذه العودة بشكل تدريجي بالغ البطء بحيث تستغرق بضعة بلايين من السنين ، وسوف يجرى الجانب الأكبر من عملية عودة الانكماش ، دون أن يطرأ تغير يذكر على مظاهر الكون على النطاق الواسع ، وذلك بسبب تأخر الضوء المنبعث من المناطق البعيدة . ومع ذلك فسوف تحدث حركة انفجارية داخلية عامة ملموسة عندما تبدأ المجرات في السقوط ببطء صوب بعضها البعض ثم الارتطام ، وسوف يكون من شأن درجة حرارة الاشعاع الحرارى الخلفي ، التي يفذيها ضوء النجوم ، أن ترتفع ببطء خلال عملية الانكماش ، وسوف تصل في المراحل التالية الى درجة من الارتفاع تكفى لأن تتبخر النجوم . وتبدأ بعد ذلك عملية الاحتراق البشعة التي تغنى كل شئ بسرعة تصاعدية تفوق الخيال . وتتوالى المراحل مع كرة اللهب بشكل معكوس عما تناولناه من قبل عند دراسة الانفجار العظيم ، لينتهى المآل بالكون عند الغدازة فى المكان - الزمان ، ومثلما كانت الجاذبية هى « قابلة » الكون ستكون فى النهاية هى « الحانوتى » الذي يقبره .

ومازلنا مع نماذج فريدمان لنجد أن البديل لعملية السحق والفناء المروع هو التمدد المتراعى المتجمد ، فلو استمر الكون فى التمدد بلا نهاية فلن يحدث مطلقا أن يتحقق توازن ديناميكى حرارى تام . وعلى أية حال فليس من الوارد أن تستمر الى الأبد هذه الحالة من عدم التوازن البالغ الذى ترتفع به حياتنا حاليا والتي تتجسد فى مساحات سحيقة من الفضاء البارد الذى تتخلله النجوم البيضاء الملتهبة وكأنها بقع صغيرة مضيئة موزعة بشكل عشوائى . ومن المتوقع مع مرور الوقت أن ينفد كل الوقود النووى ومن ثم تلاشى النجوم . وسوف تغنى النجوم الواحد تلو الآخر اما بالتفتت على هيئة انفجارات سوبرنوبا واما بالتبريد وبالتالي العتامة ، وقد ينقبض عدد منها ويتحول الى ثقوب سوداء ، ويقدر أن تستغرق هذه العملية برمتها بضعة بلايين من السنين .

ومع استمرار التمدد ، سوف تتبعثر المجرات الآفلة وتختفى عن الأنظار ، أما المادة فى هذه المجرات فانها اما ستلتهمها الثقوب ، أو ستتنخفض شيئا فشيئا درجة حرارتها حتى تصل الى الدرجة السائدة فى الخلفية الفضائية الأبدية . وليس من المتوقع أن يشهد الكون بعد ذلك شيئا يذكر بخلاف الفراغ والسواد والبرودة . وقد تحدث بين الحين والحين كارثة مفاجئة من قبيل اصطدام نجمين نوترونيين أو ثقبين أسودين مما يعيد بصفة مؤقتة بعض النشاط الى الكون على هيئة سسيل من اشعاعات

الجاذبية ، بل وقد نتوقع أن تحدث من وقت لآخر هذه الذبذبات الديناميكية الحرارية بالغة الندرة والتي من شأنها أن تضيء الأركان البعيدة في هذا الظلام الحالك . أما ما عدا ذلك فهو القبر .

ولا شك أن العلم يتضمن بعض التكهّنات التي تنير مثل هذا القدر العميق من الاحباط واليأس والكتابة .

٦ - ٤ عوالم بلا نهاية

ولقد اقترح عدد من علماء الكونيات أفكارا مختلفة تماما بشأن التطور الزمني للكون ، ففي عام ١٩٤٦ طرح اثنان من علماء الفيزياء الفلكية البريطانيين ، هما هيرمان بوندي Hermann Bondi وتوماس جولد Thomas Gold ، فكرة مؤداها أن الكون إذا كان قد بدا على شاكلة واحدة (على النطاق الواسع) من مكان لمكان ، فربما يكون كذلك من زمان لزمان ، وهذا يعني أن الكون في شموليته لا يتعرض في الواقع لأي تغيير ، ولا بد بالطبع أن يستمر الكون في التمدد ، وأن يكون هذا التمدد بمعدل ثابت دائما . ولما كان التمدد يؤدي الى تناقص كثافة المجرات في الكون ، كان لابد من ايجاد آلية تجعل التمدد يتلام مع فكرة علم التطور الزمني ، وكانت الآلية التي اقترحها بوندي وجولد هي استمرار تكون مجرات جديدة لتملأ « الفجوات » المترتبة على تباعد المجرات الموجودة بالفعل . أما المادة المستخدمة في تكوين هذه المجرات فهي تنشأ بشكل مستديم مع تمدد الكون . ولا يتضمن هذا النموذج انفجارا عظيما يهيئ الظروف لنشأة أى شيء ، فالمادة تدخل الكون في جميع الأوقات . ويتبين من ذلك أن المسلك العام لهذا الكون غير المتغير ليس مسلكا استاتيكيّا وإنما هو منتظم ، تتطور فيه النجوم والمجرات بشكل فردي على مدى مراحل حياتها الى أن تخبو وتآفل ، وتنشأ باستمرار المادة - وتنجم - لتكون أجيالا جديدة من النجوم لتحل محل الأجرام الفانية ، ومادام الكون في مثل هذه الحالة من الاستقرار والانتظام فليس ثمة بداية له ولا نهاية .

والسؤال البدهي الذي يبعثه هذا التصوير هو : ما هي الآلية التي تتيح للمادة أن تدخل الكون بشكل مستديم ؟ ولما كان أسلوب نشأة الجسيمات كميّا من مجال الجاذبية قد فقد فاعليته على الصعيد الكوني في ظل الظروف الحالية ، فلا بد من البحث عن مبدأ جديد . ومن الأفكار البارزة لمثل هذا المبدأ هو ما طرحه فريد هويل على هيئة نوع جديد من

المجالات يسمى « الخلق » Creation (c) field وسنطلق عليه اسم المجال (خ) ، ومن خصائص المجال (خ) أن له طاقة سالبة بحيث أنه لو اقترن بالمادة ، يكون من شأن عملية خلق الذرة (ولتكن ذرة هيدروجين على سبيل التيسير) أن تكون مصحوبة بتميز لمجال الطاقة السالبة ، وبالتالي تبقى القيمة الاجمالية للطاقة محفوظة ، مما يجعل المسألة برمتها تتفق مع نظرية النسبية العامة ، غير أنها لا تتلاءم بالطبع مع قوانين فيزياء الجسيمات الأولية الخاصة ببقاء « بطاقات الخصائص » المختلفة . وعلى أية حال ، فإن معدل الخلق المطلوب يعد ضئيلا للغاية ، حيث لا يزيد على ذرة واحدة سنويا في حيز في مثل حجم مدينة صغيرة ، وهو بالطبع معدل غير ملموس في الواقع ولكنه يكفي لتمويض تناقص الكثافة الناجم عن التمدد الكوني .

وقد تناول هذه النظرية في مراحلها الأخيرة العالمان فريد هويل وجاينانت بارليكار وطوراها بدرجة كبيرة من التفاصيل حتى انها حظت بشعبية كبيرة على مدى بضع سنوات . غير أن ما شهودته الستينات في منتصفها من اكتشاف بعض التأثيرات التطورية الاكيدة في الكون ثم اكتشاف الخلفية الاشعاعية الحرارية ، غرز بقوة الاعتقاد بأن الكون كان في حالة كثيفة ملتهبة قبل بضعة بلايين سنة ، ومن ثم لا مجال لأن يكون في حالة انتظام ، وبالتالي سقطت هذه النظرية الخيالية من الحساب بصفة عامة .

يبد أنه قد يكون من الصعب تجاهل ما يمثله كون بدون بداية ونهاية من اغراء فلسفى . ولذلك كان نموذج ما يسمى بالكون الترددى حلا وسطا جمع بين المميزات الفلسفية لنظرية الكون المنتظم وما حققه نموذج الانفجار العظيم من نجاح ، وتقوم النظرية الجديدة على النموذج رقم (٣) لفريدمان والذي يعود للانكماش ، مع اضافة فرضية جديدة هي أن الكون سيتقلب على ما يتعرض له من أحداث عنيفة نتيجة الفجأة عند الحدين الزمنيين (ولقد أشرنا في القسم (٣-٥) الى عدد من الأساليب التي يمكن أن يحدث بها ذلك) . ولو كان الأمر كذلك ، فمن شأن الكون ، في نهاية دورة التمدد واعادة الانكماش ، أن يصل الى درجة بالغة من الكثافة ثم « يرتد » مرة أخرى في دورة جديدة من التمدد وعودة الانكماش شبيهة بسابقتها وهلم جرا . ولو استمرت الأمور تجري على هذا النحو ، فهذا يعنى أن الحركة الكونية تتخذ شكل سلسلة لانهائية من التذبذب بين حد أقصى وحد أدنى من حيث الحجم (انظر الشكل ٣-٦) . ويتسم مثل هذا الكون أيضا بأنه ليس له بداية أو نهاية ، غير أن العنف

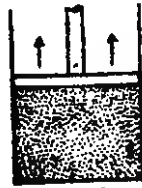
التي تنصف به الأحداث في مراحل الكثافة البالغة قد يكون من شأنه أن يدمر كل بنية المرحلة السابقة وأية معلومات تخصها بحيث تبدأ في كل دورة كرة جديدة تماما من التطور .

وقد نتساءل كيف يتلافى الكون التردى الوصول الى حاله من التوازن الديناميكي الحرارى . ويوضح الشكل (٦ - ٤) منظومة معيية مماثلة لهذا النموذج ، وتتكون من غاز معزول في اسطوانة ومضغوط تحت تأثير وزن مكبس . ولو انضغط المكبس بقوة لأدنى من وضع التوازن ثم ترك حرا فسوف يندفع لأعلى بشدة بفعل قوة الغاز المنضغط داخل الاسطوانة . ومن شأن القصور الذاتى للمكبس أن يتسبب في تجاوزه وضع التوازن مما يؤدي الى خلخلة الغاز وبالتالي يعود المكبس الى النزول لأسفل ويتجاوز مرة أخرى وضع التوازن ويضغط الغاز ، وتستمر دورة التمدد والعودة الى الانكماش هذه المرة بعد المرة ، تماما مثل حركة الكون الترددية . غير أن تلك المنظومة المعليية لن تستمر في التذبذب الى مالا نهاية ، وذلك لأسباب عديدة ، فمع كل حركة علوية للمكبس يعتمد الغاز في الاسطوانة ولكن بمقدار يقل قليلا عن حركة المكبس ، ويعنى تأخر الغاز بهذه الطريقة انه يتعرض دائما لقدر محدود من عدم التوازن بالنسبة للجهاز ، وينتج عن ذلك أن انتروبيا الغاز تتزايد قليلا في كل دورة مع محاولة الغاز استعادة حالة التوازن . وتتجلى هذه الزيادة في الانتروبيا على هيئة ارتفاع في درجة حرارة الغاز ، ويأتى هذا الارتفاع على حساب طاقة المكبس ، وبالتالي تنبأا تدريجيا حركة المكبس الى أن تصل المنظومة مع الوقت الى الثبات ولكن مع ارتفاع درجة حرارة الغاز وزيادة الانتروبيا . ولو كانت هناك ماكينة تحرك المكبس فسوف تستمر الحركة الترددية الى أن تتوقف عملية التغذية الخارجية بالطاقة ، وعندئذ ستبدأ حركة المكبس في التباطؤ الى أن تتوقف تماما في نهاية المطاف .



الشكل ٦ - ٣ : نموذج جديد للكون . لو تطلب الكون في مضوار عوبته الى الانكماش على مشاكل المراحل الأخيرة ، عن طريق سورة من الغدادة ، فسوف يكون من شأنه ان يكرر الارتداد من وضع لوضع للابد ، غير ان لتأثير الاحتكاك الكوني سيولد انتروبيا على هيئة حرارة ، وسوف ترتفع هذه الحرارة بشكل تدريجي مع كل دورة الى ما لا نهية . ولتلافي هذه الظاهرة طرح الفزاح بان يبدأ الكون كرة جديدة مع كل دورة . لتحتمل ان لتغير فيها الانتروبيا وكل الخصائص الفيزيائية الأخرى .

أما في الكون الحقيقي فان الانتروبيا المتولدة نتيجة التباطؤ في التمدد تكون بالغة الضالة ، حتى انها تقل كثيرا عن تلك الناجمة عن الضوء النجمي (على نحو ما أوضحنا في القسم ٦ - ١) . ومع ذلك ، فالمبدأ العام واحد ، ويبدو للوهلة الأولى أنه مع استمرار تزايد الانتروبيا في الكون سوف تتباطأ الحركة الكونية الى أن تتوقف في نهاية الامر . غير أن الأمر لا يمكن أن يجرى على هذا النحو ، لأن كونا يتسم بمثل هذه الجاذبية الذاتية ، لن يكون من شأنه مطلقا أن يصل الى حالة توازن - والا فلا مفر من أن يتقبض ، فمجال الجاذبية يشكل موردا للطاقة لا ينضب ، مما يفسح المجال لاستمرار التذبذب الى مالا نهاية . وتفيد الحسابات بأن نطاق هذه الذبذبة يتزايد في واقع الامر .



الشكل ٦ - ٤ : منظومة مصغرة محاكية للكون التردى . لو ضغطنا المكبس بقوة ثم تركناه هرا فسوف يعلو ويهبط بحيث يعتمد الغاز ثم ينضغط في سلسلة ترددية مثل الكون ، وعلى غرار الشكل (٦ - ٣) . غير ان هذه الحركة الترددية سوف تتوفا تدريجيا مع الوقت (الا لو كانت تجري بفعل محرك) مع تحول الحركة المنتظمة للمكبس الى حركة غير منتظمة (حرارة) للغاز ، بما يتفق مع قانون زيادة الانتروبيا . وعندما يصل المكبس الى وضع السكون سيتوقف تزايد الانتروبيا . غير ان ذلك لا يحدث في الكون الحقيقي حيث ان الحركة الترددية تجري تحت تأثير الجاذبية وبالتالي يستمر تزايد الانتروبيا (الحرارة) بلا حدود .

ولو كانت الانتروبيا في الكون تتزايد من دورة الى أخرى ، فنحن بالتاكيد لا نعيش في كون ترددي من النوع الوارد ذكره هنا . لماذا ؟ ان أكبر كمية من الانتروبيا في الكون (وبفارق ضخم) ، هي تلك الموجودة على هيئة اشعاع خلفي ، ومع ذلك فهي ضئيلة للغاية . وبما أن الانتروبيا الناجمة عن اشعاع الضوء النجمي في دورة واحدة سابقة تكفي لتغطية كل هذا الاشعاع الخلفي فنحن بالتالي نعيش على أقصى تقدير في الدورة الترددية الثانية لا أكثر .

ويرى بعض المفكرين أن الانتروبيا لا يمكن أن تتحمل مرحلة الكثافة البالغة فيما بين الدورات ، وبالتالي تبدأ كل دورة وكأنها تنشأ من جديد . ولو انتهكت قوانين الديناميكا الحرارية عند المراحل النهائية للدورة ، فقد ينسحب ذلك أيضا على أي من قوانين الفيزياء (مع بقاء النسبية العامة ، وهي آخر واحد من هذه القوانين الراسخة ، بعيدة عن ذلك الاحتمال) . ويصل الأمر بهذه الفلسفة في حدها الأقصى الى الافتراض بأن كافة القوانين ، وربما الثوابت الطبيعية ذاتها - مثل شحنة الإلكترون ومعامل بلانك (نسبة الى الفيزيائي الألماني ماكس بلانك (Max Planck) (١٨٥٨ - ١٩٤٧) - تتغير وتبدأ كرة جديدة تماما في كل دورة . واذا لم يكن هناك شيء ينتقل من دورة لدورة ، فهذا يعني أننا نتحدث عن أكوان منفصلة تماما فيزيائيا وبالتالي يمكن أن نعتبرها تجمعا لا نهائيا من الأكوان الموجودة في وقت واحد . وقد تكون القوانين والثوابت الطبيعية في بعض منها ماثلة لما يحكم عالمنا وبالتالي قد تنشأ فيها الحياة . غير أن معظمها سيختلف كثيرا عن كوننا وبالتالي لا مجال لأن تقوم فيها حياة . أما لماذا نبحث عن هذا النوع من الكون بالذات فتلك مسألة تندرج في اطار البيولوجيا . ولا يوجد من بين النماذج المطروحة للكون سوى فئة صغيرة من شأنها أن تبعت لدى علماء الكونيات التساؤل عن احتمالات قيام الحياة فيها . وقد يبدو هذا الانقلاب الغريب المتمثل في استخدام البيولوجيا لتفسير الفيزياء أو حتى الفلك ، محيرا بالنسبة للقارئ ، وسوف يجد في الباب السابع مزيدا من هذا النوع من التكهّنات . غير أن هذه الفكرة تكتسب طابعا فلسفيا فقط ، ولا تعد نظرية طبيعية ، ولا يمكن ايجاد مبررات لها لا بالتجارب ولا المشاهدات .

ولقد ذكرنا في القسم (٦ - ١) أن أصل علم التوازن في الكون يعزى الى التغير المفاجيء في شكل التوازن بالنسبة للمادة عندما تعدت كرة اللهب الأولى وانخفضت حرارتها . والواقع ان السبب الأساسي في علم استقرار الكون هو انه كون متحرك . ويمكن بشكله ام بآخر أن نعتبر الحركة الشاملة للكون بمثابة نوع من « التداخل الخارجي » مع منظومات الديناميكا الحرارية المحلية للمادة والاشعاع . ولقد شرحنا بدقة في الباب الثالث كيف أن هذا التداخل يعد ضروريا لخلق عدم التناظر الزمني ، ولكنه لا يكفي في حد ذاته لتحديد اتجاه عدم التناظر الزمني . وثمة شيء ضروري آخر يمثل في افتراض وجود تحركات دقيقة عشوائية ، وتسمى هذه التحركات في بعض الأحيان بالفوضى الجزيئية . ولو نظرنا الى الكون ككل واعتبرناه منظومة فرعية عملاقة فسوف تظهر مشكلة تتمثل في محاولة ايجاد تفسير « كوني » لهذه الفوضى الجزيئية .

ولقد ناقشنا من قبل واحدا من التفسيرات المطروحة وأوضحنا عدم سلامته ، وهو التفسير الذي يقول بأننا نعيش بالقرب من قاع دذبذة كونية عملاقة حول حالة التوازن ، غير أن ذلك التفسير لا يتفق مع ما هو معروف عن التاريخ القديم للتعدد الكوني .

وثمة احتمال آخر لا يقل غرابة عن سابقه وان كان أكثر منه شيوعا بكثير ، ومؤداه أنه ليس هناك مجرد كون واحد ولكن تجمع كامل من الأكوان ، قد يصل عددها الى ما لا نهاية . ويمكن أن يتحقق ذلك اما عن طريق دورات ترددية متتالية على نحو ما أوضحنا في القسم السابق ، أو اذا انتقلنا الى مستوى الميكانيكا الكمية ، بأن تتمايش كل بدائل العوالم الكمية المحلية في مصفوفة عملاقة من الأكوان المتوازية . وأيا كان الأمر ، فمن شأن أي تجمع للأكوان أن يتيح تحقيق كافة المجالات الأصلية المحتملة للتحركات الميكروسكوبية الدقيقة . ومن ثم فإن الكون المشهود اما هو مجرد عضو نطى في المجموعة اختير عشوائيا .

ويبدى عدد كبير من الناس تشككهم ازاء فكرة وجود تجمع للأكوان ومؤثرون ، في تبريرهم لمسألة بدء نشأة الكون المشهود بالتحركات الميكروسكوبية العشوائية ، القول بأن الأمور قد جرت على هذا النحو لأنها ببساطة قد جرت على هذا النحو ! وأيا كانت وجهة النظر الراجحة ، من الواضح أن الكون المتسم بعدم التناظر الزمني لا يتطلب أية ظروف أولية قهرية ، بل انه يلتضى فيما يبدو نشأة ذات طابع بالغ العمومية

والعشوائية على المستوى الميكروسكوبى . ويعد هذا الطابع العشوائى
الاولى على وجه التحديد هو السمة المتوقعة أن تنجم عن الفقاذاة التى ذكرنا
فى القسم (٥ - ٣) أنها حدثت معاغت تماما لا يمكن التكهن به .

ومن بين النتائج المترتبة على الافتراض المتعلق بعشوائية التحركات
الميكروسكوبية الأولية ، أن التأثيرات التى تصل من كافة الاتجاهات فى
السماء الى الأرض تنسم بانها على درجة من الاستقلالية . فالموجات
الكهرومغناطيسية على سبيل المثال تصل باستمرار الى الأرض فى صور
متعددة منها الضوء النجمى والأشعة السينية وأشعة جاما وأهم من ذلك
كله الإشعاع الحلقى الحرارى المتبقى فيما يبدو من الانفجار العظيم ذاته .
ولأن هذا الإشعاع حرارى على وجه التحديد فهو لا يحمل أية معلومة
تفصيلية بشأن كرة اللهب الأولى . وليست هناك رسالات تصل الى
الأرض على هيئة موجات كرية منكشئة فمثل ذلك الإشعاع الكهرومغناطيسى
المتقدم يحتاج « معاونة » ميكروسكوبية خاصة ، غير أنه لا مجال لتحقيق
مثل هذا التعاون فى ظل ما تنسم به التحركات الميكروسكوبية الأولية
من عشوائية مفترضة . (ولو كانت نظرية ويلر - فينمان تعطى
بالمصادقية لما كانت هناك بالطبع حاجة لهذه الخطوة ، حيث كان الإشعاع
سيكتسب طبيعته التأخرية التامة من خصائص الديناميكا الحرارية
للمادة المتصلة) .

وقد طرح عدد كبير من علماء الكونيات مفاهيم عديدة ومتباينة
تماما لمسألة النظام وعدم النظام فى الكون ، ومن أبرزهم توماس جولد
وجون ويلر .

ويفترض البعض أنه كان هناك وسط الفوضى الأولية « تخطيط » ،
يأرجح ، يحمل فى طياته ، رغم عدم أهميته فى وقت الانفجار العظيم ذاته ،
بنور معجزات مستقبلية . اليس من الجائز أن تكون التحركات الميكروسكوبية
الأولية تبدو لنا عشوائية بينما هى تحجب تعاوناً يجرى بين عدد لا حصر
له من الجسيمات ، كل منها يتحرك بطريقة مختلفة ولكنها فى آخر الأمر
تصل الى نهاية واحدة مترابطة ؟ أمن الوارد أن يشتمل الكون على نظام
مستتر يتواوى خلف ما قد نراه من تحرك عشوائى ظاهرى لمحتويات
الكون ؟

ولتصوير كيف يمكن أن يختفى النظام وراء الفوضى الظاهرية ،
ابتكر الفيزيائى البريطانى ديفيد بوم (David Bohm) تجربة بديعة : فقد
أحضر بوم وعاء شفافاً به محلول دبس السكر وملققة ، ثم وضع فى المحلول
نقطة صبغة وأخذ يقلب ، فبدأت نقطة الصبغة تستطيل وتتخذ شكل

خيوط حلزونية نتيجة الدوران . ومع استمرار التقليب ازداد الخيوط رفعا ولولبة حتى ان الناظر الى المحلول يحسبه للوهلة الاولى خليطا متجانسا رمادي اللون . ولا شك ان الشكل الذي اتخذته نقطة الصبغة والمستتر في المحلول يعد عشوائيا . ورغم أن بنية هذا الخليط الملولب بالفة التعقيد فاننا نقول ان النظام قد صار مستترا ولكنه لم يختف . ويمكن أن تتضح هذه الحقيقة بشكل جلي عند دوران المعلقة في الاتجاه العكسي حيث ستفاجأ بفك اللولبة ثم تجتمع الخيوط شيئا فشيئا ليعود في النهاية الى شكله الاصلي على هيئة فقاعة ، لقد عاد النظام الى الظهور مرة أخرى ! وقد يكون الكون على هذه الشاكلة ، وقد يحدث أن يبرز النظام الى النور في وقت ما في المستقبل .

وكان هذا على وجه التحديد هو ما تصوره جولده . ففي هذه المرحلة من الكون لاشئ يحدث من قبيل الخوارق او المعجزات ، فالمنظومات الفرعية تتكون بشكل عشوائي وتترايد انتروبيتها بالاسلوب المعتاد . ويتجلى عدم النظام في الكون بدلا من النظام : فالعربات تلتف والناس يموتون والجليد ينوب بينما تنتج عربات جديدة ويولد اناس آخرون وتتكون النجوم مرة أخرى ، وكل ذلك على حساب تبديد الطاقة وزيادة الانتروبيا في الكون الارحب . أي أن الفوضى الاجمالية تزداد . ولكن ماذا لو جاء وقت في المستقبل انقلب فيه هذا النمط من عدم الانظام ؟ ولاشك انه من الوارد حدوث مثل هذا الوضع الغريب . ولكن يتحقق ذلك دون الاخلال بحقيقة ان المكونات الميكروسكوبية في المراحل الاولى للكون قد بدأت تحركها بشكل عشوائي بالفعل ، ينبغي أن يكون كل جسم وكل موجة كهرومغناطيسية قد تحركت في مسار محدد بعناية ليقودها الى مثل هذا الخط الخاص من التطور في المستقبل .

ولعلنا نفكر الآن فيما عساه أن يحدث في النصف الثاني من مثل هذا الكون الغريب . فبدلا من أن تحول النجوم الهيدروجين الى هليوم وتبعث الاشعاعات ، سوف ترد الاشعاعات من الفضاء السحيق بشكل مرتب بحيث تسقط على أسطح النجوم الساخنة . ثم تخترق هذه الاشعاعات طبقات النجم وتتحرك تدريجيا مع بعضها لتكون أشعة جاما . ويستمر التوغل الى أن يصل كل شعاع جاما الى جوف النجم في اللحظة الملائمة حيث يؤدي الى انشطار ذرة هليوم وتفتتها الى مكوناتها غير المستقرة . وفي ظل هذا الوضع سوف تبدو الأسطح « الساخنة » معتدلة الحرارة ، بينما ستسطع الأسطح « الباردة » . ولما كانت الأعماق الباردة في الفضاء تنتقل ما تبقى لديها من طاقة الى النجوم ، فسوف يتمدد الظلام وتظهر السماء مضيئة ، وتبدو فيها النجوم كنقطة ضئيلة سوداء منتشرة في خلفية منيرة « ومنهكة » في امتصاص الطاقة .

أما على سطح كوكب مثل الأرض، فسوف يجري كل شيء بالمعكوس، أي سوف تتدفق المياه في الأنهار من المنسوب المنخفض إلى المنسوب الأعلى، وتصعد الأمطار إلى السحب ثم تختفي وتتكون القلاع الرملية على الشواطئ تحت تأثير الرياح والبحار، ويتحول التراب إلى بشر طاعنين في السن ومرضى في البداية ثم يكتسبون مع الوقت العكس الشباب والصحة والحيوية إلى أن ينتهي بهم الأمر في أرحام أمهاتهم .

ومن الغريب أن هذا الأمر يبدو مضحكا، رغم أنه يمثل ببساطة وصفا للعالم الذي نعيش فيه بالفعل ولكن بترتيب زمني معكوس، ولا يكتسب حدوثه أي وجه غرابة قياسا بممارستنا الحالية للحياة، وما الاختلاف في الوصف إلا اختلاف لفوى . ومن شأن المنع البشري في عالم معكوس زمنيا أن ينطوي على عقل وذاكرة وأحاسيس مقلوبة، فهو سوف يتذكر المستقبل ويتكهن بالماضي، وبالطبع لن تنقل كلمات ذلك الإنسان المعنى ذاته الذي نفهمه حاليا منها . ويمكن القول باختصار أن عالم هذا الإنسان سيبدو له تماما على النحو الذي يبدو عليه عالمنا بالنسبة لنا - ومرة أخرى، لن يتضمن هذا العالم أي شيء غريب .

ولعل الشيء العجيب في المسألة أن عالمنا ذا الزمن « التقدمي » سيتحول إلى عالم ذلك الإنسان ذي الزمن « الرجعي » (أو العكسي، حيث أن هناك تناظرا تاما) . ويقضى مثل هذا التحول - على نحو ما أشرنا إليه آنفا - درجة خارقة من التماثل بين عدد لا نهائي من الفئات .

وعندما طرح توماس جولد هذه الفكرة في البداية كان يتحدث على أساس أنها تجري في إطار نموذج فريدمان للكون العائد إلى الانكماش . ويتسم هذا النموذج بأن كل شيء قابل للانقلاب فيه، حتى التمدد الكوني ذاته، بحيث يبدو نصفا الدورة متماثلين تماما بالنسبة للمعايشين لها . وسوف يكون من شأن كل واحدة من فئتي السكان أن ترى النصف الخاص بها من الكون هو النصف « الأول » - أو الجزء المتمدد - وسوف تقترض أن الكون، في مرحلة الانكماش « السابقة » كانه « بالفعل » كان في حالة تقلص، ولكن السكان كانوا يرون كل شيء يجري « بالراجع »، وذلك لأن الديناميكا الحرارية وسائر مظاهر عدم التناظر الأخرى ستبدو مقلوبة . وبالطبع فليس من الفئتين من هو مصيب أو مخطئ من حيث تقريره للأولوية الزمنية . فمن الخطأ أن يعتبر المرء أن واحدا من الانفجارات العظيمة هو « البداية » والآخر هو « النهاية »، بل إنه يمكن اعتبار كل منهما بداية . . فنحن لا نعلم على سبيل المثال في أي من نصفي مثل هذا الكون نعيش الآن !

ولاشك أن نموذج عالم متسهم بتناظر تام ينطوى على شيء جذاب ، ولكن هناك مشكلة واحدة : هل يتماشى مثل هذا الاحتمال مع ما لدينا من معارف بشأن المنظومات الطبيعية ؟ ان من خصائص الكون المتناظر زمنيا أن الأسباب فيه قد تأتي من المستقبل مثلما أنها تأتي من الماضي . . . فقد نحدث أشياء الآن لأن شخصا ما سيقدر ذلك بعد مضي ملايين السنين ! ومن شأن الضوء النجمي المنبعث من « النصف الآخر » من الكون صوب مستقبلنا ، أن يصلنا الآن ولكن بشكل زمني رجعي ، فيبدو بذلك اشعاعا متقدما بدلا من متأخر . ومن المحال أن نرى هذه النجوم في المستقبل لانه بدلا من أن يسقط الضوء على أعيننا فيخز حاسة البصر ، سيحدث العكس تماما ، أى اذا نظرنا الى مثل هذا النجم أرسلت أعيننا الضوء صوبه بدلا من أن تستقبله منه . ولاشك أن مثل هذه الظاهرة تتسم بعدم الوضوح .

ولا يقف الأمر عند عجزنا عن رؤية هذا العالم المقلوب في المستقبل ، بل انه ليس بمقدورنا كذلك الاتصال بأهله . والسبب في ذلك هو أنهم سوف يكونون يعيشون ويفكرون ويستنتجون بطريقة عكسية بالنسبة لنا ، وإن ما نرى انه معلومات ، سيكون بالنسبة لهم بمثابة انثروبيا .

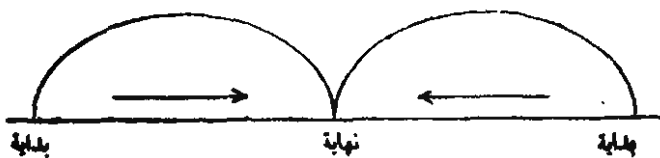
وإذا كانت إمكانية انتقال الاشعاع من نصف مثل هذا الكون الى نصفه الآخر قسائية ، فمن شأن ذلك أن يقضى احتمال أن يأتى التبدل فجائيا . ولذلك تكهن جون ويلر بحدوث انقلاب تدريجي - على غرار التبدل المدى في المحيطات - تتباطأ في اطواره مظاهر عدم التناظر الزمني حتى تتوقف تماما ، ثم تبدأ دورة الرجوع . وإذا كان الامر كذلك فلا بد أن تكون هناك من الآن بعض المؤشرات الدقيقة الملبوسة الدالة على احتمال حدوث « الانقلاب المدى » في وقت ما في المستقبل البعيد . ولقد أخذت هذه الفكرة بدرجة من الجدية حتى ان البعض فكر في اجراء تجربة واحدة على الأقل بغرض محاولة رصد مثل هذا التغير الدقيق في مسلك الاشعاع . وتمثل أساسا التجربة (التي فشلت في رصد أى منعطف مدى) في البحث عن موجات ميكرويف كهرومغناطيسية واردة من المستقبل .

وإذا كان الكون المتبدل زمنيا يمد نوعا من الفضول الفكرى المشير الذى ينبى عن الحيال المحسب الذى يتمتع به علماء الكونيات ، فربما كان من الأفضل عدم المبالغة فى أخذه بأخذ الجد . ومع ذلك فإن احتمال أن يكون من الوارد أن تعكس الأشياء مجراها ليعتد على التكهن بأن الزمان ذاته قد يكون دوريا . ولقد افترضنا فى مناقشاتنا حتى الآن أن طبوغرافيا الزمن تأخذ شكل خط مستقيم مع تتابع جلى للأحداث (ولا يهم فى

أى اتجاه هو) ، ولكن ماذا لو أن طبوغرافيا الزمان تأخذ شكل دائرة بدلا من خط مستقيم ؟ ان مثل هذه الطبوغرافيا تبصت على وجود كون ذى زمان ترددى .

وترجع فكرة العالم الترددى الى عصر أرسطو على الأقل . ثم جاءت بعد ذلك بكثير نظرية النسبية العامة ، وأبرزت عددا من الأوضاع التى يتصل فيها فيما يبدو التاريخ المستقبلى للأشياء بماضيها . غير أنه لم يتضح مطلقا حتى الآن مدى ما يمكن أن تعنيه هذه الأوضاع فى الواقع الطبيعى . ولذلك فإن وقع مثل هذه الاحتمالات على الفلسفة يكتسب قدرا كبيرا من الحرية . ولا مجال للإرادة الحرة فى كون يتسم بزمان مطلق ، فلا يمكن أن تتغير ظروف منظومة ما حسب المضيئة ، لأن مستقبلها سيكون هو نفسه ماضيها ، وبالتالي ترتفع حالتها الحالية بسلكها المستقبل ، وهذا على وجه التحديد هو ما نسعى الى تغييره !

ولو كان مثل هذا النوع من الكون على درجة من التعقيد ، ويتضمن عددا كبيرا ومتنوعا من التفاعلات ، لما كان هناك على الأرجح احتمال أن نجد مثل هذه القيود على مسلك المنظومات الطبيعية . ويقتضى الأمر بالطبع أن يتسم هذا الكون بالتناظر الزمنى حتى تكون هناك فرصة لأن « يرجع » الى حالته الابتدائية . ولو أن نموذج (جولد) يتضمن قدرا كافيا من التفاعلات والتداخلات المعقدة ، فمن المشكوك فيه أن تمر الظواهر العنيفة المميزة له بدون أن يلحظها احد . وقد يكون من الأفضل ازاء ذلك أن نفترض وجود دورتين : دورة تدبى ودورة انكماشية ، على أن يتخذ عدم التناظر الزمنى فى واحدة من الدورتين اتجاها معينا ثم ينقلب هذا الاتجاه فى الدورة الأخرى . وليس هناك « بداية » أو « نهاية » فى مثل هذا الكون ، ولكن نفترض أننا « سنبدأ » بالانفجار العظيم الذى نشأ به كوننا . وبعد الكون حاليا فى مرحلة تمدد ، وسوف يصل مع الوقت الى حد أقصى من الحجم يعود بعده الى الانكماش حتى يصل الى انفجار نهائى من شأنه أن يعصف بكل البنيات والمعلومات . وتدخل المحتويات المادية الدورة الجديدة من التمدد والانكماش ، بعدم تناظر معكوس الاتجاه . أى أن الوقت سيجرى بالراجع بالنسبة لنا . وفى نهاية هذه الدورة المعكوسة زعنيا يقع انفجار عظيم آخر من قبيل ذلك الذى جرى فى ماضيها . ولا يمكن لأى شئ ذى تبعات أن يصل الى الجزء الخاص بنا من الكون ، من هنا الجانب ذى الزمان المعكوس . غير أنه من شأن الضوء النجمى المتراكم أن يظهر فى الانفجار العظيم على هيئة اشعاع ، فيما يمكن أن يعد على الصعيد الطبيعى بمثابة الكون . وتفيد بعض الحسابات البسيطة بأن هذا الاشعاع من شأنه أن يسبب خلفية حرارية تصل فى وقتنا هذا الى ثلاث درجات .



الشكل (٦ - ٥) الكون القردى - تجرى العمليات الطبيعية فى واحدة من الدورلين فى اتجاه وفى الدورة الأخرى فى الاتجاه المعكوس ويجرى الزمان فى دائرة مغلقة .

الباب السابع

الجنس البشرى فى الكون

يعتبر الجنس البشرى حيوانا اجتماعيا ، ولا يستثنى من ذلك العلمة . وتدخل عملية وضع النظريات العلمية فى اطلاع عمل اجتماعى وثقافى له جوانب خلقية ودينية واقتصادية وسياسية . ولاشك أن الأساس الفكرى لاي نموذج علمى للمكان والزمان والكون يثائر بالضرورة بالصورة الموجودة من قبل لوضع الجنس البشرى فى الكون .

وفى المقابل ، فإن ما تحقق من تقدم عمل ونظرى فى الفهم العلمى لفيزياء المكان - الزمان والكون ، له وقعه على المجتمع ، شأنه فى ذلك شأن أى نشاط فكرى بشرى آخر . ولم يحظ هذا التقدم دائما بالمصادقية الكاملة التى تؤهله للدخول فى النبع الرئيسى للمعرفة . وأحيانا ما كان وقع النماذج الجديدة للكون يثير درجة من الاستنكار والغفور حتى انها كانت تلقى معارضة شرسة قد تصل الى حد العنف ، مثلما حدث فى الثورة الكوبرنيكية .

وكان الناس قد اعتادوا الرجوع الى الدين للرد على أية أسئلة تتعلق ببنية الكون وتطوره وخلق الأشياء وأقدارها . وكانت الاكتشافات العلمية تدخل عادة فى مواجهة مع الآراء الدينية ، وكثيرا ما تعرض العلم لشتى صور الهجوم ، وكان واحد من أوجه النقد التى يتعرض لها التفسير العلمى لمثل هذه الموضوعات الجوهرية هو طبيعته التجريبية . ولما كان الدين يقوم على الايمان والعقيدة فليس من الالزام أن يتطور التفسير الدينى الى - تسفر عنه التجارب من نتائج . أما العلم فهو يقوم أساسا على الملاحظة والاختبار . رن ثم دائما ما تطرأ تعديلات على وضعه وفقا لنتائج التجارب والشواهد ، وهذا هو ممكن فادته . ولا تشكل مسألة التعديل المستمر فى الآراء العلمية نقطة ضعف ، بل بالعكس ، فهى مصدر قوته . فالعلم ، شأنه فى ذلك شأن الجنس البشرى ، يتطور صوب صور أكثر تعقيدا ، وبالتالى أكثر قوة .

والواقع أنه من النادر (في العلوم الطبيعية على الأقل) أن نحظى
 بنظرية ما يقبل تام ثم يتضح بعد ذلك أنها خاطئة بالمعنى الحرفي
 للكلمة . فها هي نظريات نيوتن للميكانيكا ، ونماذج المكان والزمان
 المستنبطة منها ، وقد خدمت بكفاءة على مدى مائتي عام أو يزيد ، وما زالت
 مستخدمة حتى يومنا هذا . وكون أن نظريات النسبية وميكانيكا الكم
 قد نسخت هذه النظرية السابقة ، فهذا لا يعنى أن نيوتن كان على خطأ ،
 وإنما يفيد بأن حدود صلاحية نظرياته صارت معروفة . ويؤكد ذلك أن
 كلا من نظرتي النسبية وميكانيكا الكم تتضمنان الميكانيكا النيوتونية
 بصورة تقريبية ، وإن كانت تلك الأخيرة تنطبق بكفاءة بالغة على الأمور
 اليومية المعتادة في العالم . فلا أحد يفكر ولو للحظة واحدة أن يستخدم
 النسبية العامة في حساب مسار طائرة على سبيل المثال .

ومن شأن العلم أن يطور دائما الوصف الرياضى للطبيعة الى
 الأفضل ، أما المجتمع فهو يعكس هذا التطور في اطار المنظور المتغير
 المتمثل في أن النظريات الجديدة بشأن المكان والزمان والاكوان تاتى
 تاجنس البشرى بكان في الكون . وربما كان هذا الوقع الاجتماعى هو
 أهم سبب يجعل الانسان يواصل أبحاثه في هذا الميدان . وقد ظل
 المجتمع لآلاف السنين يقوم على الدين ، ولم تصدر خلال هذا الزمن أية
 اجابات شافية بالنسبة لما كان يلور من تساؤلات حول هذه الموضوعات
 الكونية . وكم اندلعت من معارك وعمليات قمع وقهر وبغضاء عندما عملت
 الجماعات الدينية على فرض معتقدات معينة على سائر المجتمع ! وعلى
 التقيض من ذلك فان المجتمع القائم على العلم ، رغم انه لم ينشأ الا منذ
 أعوام قليلة فى عمر التاريخ ، فقد أوجد اجابات بسيطة للعديد من
 الاسئلة الساخنة التى عجز طويلا أهل الدين عن حلها ، وذلك دون أن
 تندلع حروب ولا قهر ولا بغضاء فيما بين أنصار الآراء العلمية المختلفة ،
 لأن العلم لا يتعامل مع العقائد ولكن يقوم على الحقائق . وان بناء نموذج
 للكون لا يحتاج عقيدة ولكن يحتاج تلسكوبا . ولو ثبت أن شيئا ما خاطئ
 فهو خاطئ .

وقد شهدت السنوات القليلة الماضية انهيارا للثقفة فى العلم
 والتفسير العلمى للطبيعة ، كما شهدت فى الوقت ذاته انهيارا للفهم
 التقليدى للدين . غير أن هذا الانهيار الأخير أسفر عن نشأة صور عديدة
 وغريبة ومتنوعة من النظم والمعتقدات الرجعية ، فحلّت الخرافات من جديد
 محل المنطق . وكثيرا ما تلجأ الطوائف والجماعات الدينية الى كنس
 الأفكار والمفاهيم العلمية بأنواعها المختلفة ، ثم تفرغها بعد ذلك فى
 سفسطة علمية كهنوتية زائفة . ويشهد العالم الغربى عودة الى الاهتمام

بالسحر والشموعة والأطباق الطائرة والاتصالات الروحية . وقد استغفلت الجماعات الدينية المتطرفة الفرائب الحقيقية التى تنسجم بها بعض الظواهر الطبيعية ، ونبتذت التفسيرات المنطقية واستبدلت بها مجموعة من الأساطير والخزعبلات وضعتها على هيئة خليط من الأفكار المشوشة المكذوبة ثم ألقت بها فى وجه العلم .

ولا شك أن هذا الانهيار فى المنهج العلمى ، والردة الى أسلوب التخريف الذى كان سائدا فى القرون الوسطى ، يعزى فى جانب منه الى تقلب المفاهيم فيما بين العلم والتكنولوجيا ، مما أسفر فى عقول البعض عن حركة ارتدادية ضد العلم بسبب عيوب التكنولوجيا . ويعد التلوث والحرب النووية والهندسة الوراثية وغيرها أمثلة على سوء استخدام العلم على هيئة تكنولوجيا . وقد كان من شأن السطحية الاستهلاكية التى تنسجم بها الرأسمالية ، وانسلاخ الناس وعزلتهم فى مجتمع صار يعمل بالزراير ، والبنائيات الشاحقة والاستعاضة عن العقل البشرى بالحواسب الآلية وفساد الكوكب بالصناعات المتعطشة للطاقة ، أن أسهمت كلها فى حدوث انقلاب مفاجئ وقوى ضد القيم العلمية . ومن المدهش أن نفس المجتمع ، المتشبع بالسلوكيات القائمة على الحصول على أعلى مقابل للتكلفة ، يناهض بشدة كافة صور البحث العلمى التى ليست لها استغلالات تكنولوجية مباشرة .

ويعد البحث فى مجال المكان والزمان والأكوان دراسة أكاديمية فى المقام الأول . وربما كانت نظرية النسبية العامة هى النظرية العلمية الكبرى الوحيدة التى ليست لها (حتى الآن) تطبيقات تكنولوجية ، ومن ثم فهو موضوع « آمن » . وأحيانا ما يكون المبرر لاستمرار البحث فى هذه الموضوعات هو أن العلم يتقدم على جبهة واسعة ، فالبحث فى مجال ما ، يثير السبيل بالنسبة لمجالات أخرى عن طريق تطبيقات عملية أكثر ملاءمة . علاوة على ذلك ، فمن شأن الاكتشافات الجديدة ، حتى لو كانت فى نطاق أكاديمى بحث ، أن تسفر فى بعض الأحيان عن تكنولوجيا جديدة . وتعد نظرية ماكسويل للكهر ومغناطيسية مثالا تقليديا لذلك ، حيث انها وضعت كنظرية رياضية بحتة هدفها توحيد خصائص الكهرباء والمغناطيسية ، قادت مباشرة الى التكهّن بالموجات الكهر ومغناطيسية التى فتحت الطريق أمام الاتصالات اللاسلكية والراديو ... الخ .

ورغم أن هذا الرأى صحيح بالتأكيد . يرى المؤلف انها حجة فى غير موضعها . فالمبرر الصحيح للبحث الأكاديمى هو المعرفة وليست التكنولوجيا . ويعد فهم الانسان للكون هو أقوى دافع لاستمرار العلوم .

ومما يبعث على الأسف أن مجتمعنا الحديث القائم على الوسطية يضحى بالمعرفة في سبيل العائد . ومع ذلك فما زالت المعرفة هي أكثر شيء يميز الإنسان عن سائر المخلوقات . وإذا لم يكن من شأن المجتمع أن يلفظ العلوم في سلة واحدة مع التكنولوجيا ، فلا بد من توجيه قدر كبير من الاهتمام للمعرفة والفهم .

وفي المجتمعات ذات الموارد المحدودة عادة ما تكون مسألة وضع الجهود البحثي في مكانها الصحيح في ترتيب الأولويات عملية صعبة . فهل هناك بالفعل أي سبب يبعث على مواصلة البحث في موضوع بالغ الخصوصية العلمية كمسألة بنية المكان - الزمان ؟

ومن السهل دائما أن يتصور المرء أن العمل قد بلغ مراحله . وكم ساد اعتقاد ، قبيل اكتشاف نظريتي النسبية والكم ، بأن علم الفيزياء قد صار مستهلكا بشكل أو آخر ! . وكان يخال أن النظريات الموجودة تغطي معظم الظواهر المعروفة ، باستثناء بعض الأشياء الشاذة التي لم تكن في ذلك الوقت تتوافق معها . وليس بوسع المرء أن يعرف ماهية الاكتشافات الكبرى التي ينطوي عليها المستقبل لأنه ليس من شأن النظريات الجارية أن تبعث على التكهن بحدود صلاحيتها . فلم يكن هناك من سبب يبعث على توقع فشل الميكانيكا النيوتونية عند تطبيقها على حالة الذرة .

أما النظرية الحالية بشأن المكان - الزمان فهي مختلفة في هذا السياق، حيث « تتنبأ » في الواقع نظرية النسبية العامة بحدود صلاحيتها وبوابع فشلها ، وهي ما تعرف باسم الفذاذات . وتعد هذه المواضع هي حدود المكان - الزمان التي لا تنطبق عندها نظرية النسبية ، ولذلك لا بد من نظرية جديدة ومن نموذج جديد ، وهذا يعني أننا لم نفرغ بعد من اكتشاف كل أبعاد علم الفيزياء . أما عن ماهية النظرية الجديدة ، فتلك مسألة حدسية بحتة . وقد يصل الأمر بتلك النظرية إلى التخلي تماما عن مفاهيم المكان - الزمان ، بل قد يكون من شأن مجتمعات المستقبل ألا تستغنى بالمرة هذه المصطلحات . وعلى أية حال ، فالتشيء الأكيد حاليا هو أننا سنكون كمن يدفن رأسه في الرمال لو تجاهلنا مسألة تحدي الفذادة .

ولقد كان تطور رؤية الانسان للكان - الزمان والاكوان على مدى مئات السنين القليلة الماضية مصحوبا بمفاهيم متغيرة بشأن مكانة البشر في الكون . وكانت الثقافة الغربية في عصر ما قبل كوبرنيكوس تضع الانسان في قلب كل شيء . وكانت الأرض ، التي وجدت لخدمة الانسان ، بمثابة المحور الذي تدور حوله عجالات الكون . ولم يكن لبنية الكون برمتها من هدف سوى بقاء الانسان الذي يعد بؤرة كافة الأنشطة الطبيعية وفوق الطبيعية .

واذا كان من الصعب التزحزح عن الفكرة الانوية المتعلقة بمكانة الانسان على الأرض ، فان الأرض ذاتها لم تعد تحظى بأية خصوصية ، بل صار وضعها نمطيا يتماثل من زوايا عديدة مع وضع كل أجزاء الكون . ولم تعد الشمس ، بكواكبها التسعة نوعا فريدا من النجوم ، وهناك ملايين من النجوم المماثلة لها متناثرة في المجرة . ولم تعد مجرتنا كذلك نوعا فريدا من المجرات ، فهناك ملايين من المجرات المماثلة منتشرة في الكون المحسوس . واذا كانت شمسنا ومجرتنا على هذا النحو من النمطية ، فهذا يبعث على أن نتصور أن كوكبنا ومحيط حياتنا ومجتمعنا إنما تعد هي الأخرى سمات نمطية للكون . ومن منطلق هذه الرؤية للأرض في هذا المنظور الكوني صار العلم الحديث يرى « الحياة » كواحدة من مراحل تطور التنظيم في الكون . فلقد تكونت الذرات من كرة اللهب الأولية . ثم تكونت النجوم التي احتضنت عملية تطور النوى المعقدة . ثم شهدت المناطق الأكثر برودة حول النجوم تكون الجزيئات التي تتسم ببينيتين أكثر تعقيدا . وتأتي المادة البيولوجية كخطوة تالية في التنظيم الميكروسكوبي للمادة . ويتضح من هذه النظرة الحديثة أن الحياة نشأت بطريقة طبيعية من المادة الخام التي انتجتها النجوم . وأن تخيل أن تلك السلسلة مقصورة على الأرض لهو عودة متطرفة للاعتقاد الأنوي الذي كان سائدا في عصر ما قبل كوبرنيكوس . ورغم علمنا بأن المناطق البعيدة في الكون تماثل المحيط القريب منا من حيث الفلك والفيزياء والكيمياء ، مازال القول بأن المناطق الأخرى من الكون لها نفس السمة البيولوجية كمنطقتنا ، يشير قدرا كبيرا من الجدل . ويرجع ذلك في جانب منه الى انه لم يحدث مطلقا أن رصفت أية حياة خارج الأرض ، وليس ذلك فحسب ، بل حتى لو كان هناك مثل هذه الحياة فسوف تكون مسألة اكتشافها بالغة الصعوبة .

ولو صح أن الحياة ظاهرة كونية عامة فسوف يؤدي ذلك الى تغير جذري في نظرنا الشاملة لوضع الجنس البشرى في الكون . ولا شك أن حجم ما سيطرأ من تعديل فكري في هذه الحالة لن يقل عما جرى بعدما تكتشف في عصر ما بعد كوبرنيكوس ، من أن الأرض كجسم فلكي ما هي الا مجرد بقعة لا قيمة لها . فهل هناك احتمال لأن تكون الأرض النابضة بالحياة شيئا لا قيمة له كذلك ؟

قد يكون مفيدا أن ندرس بعض أسباب ما تنسم به البيولوجيا من طبيعة مضللة . أولا : تبعث الملاحظات المذكورة آنفا بشأن توجه الفيزياء والكيمياء في كل مكان ، على التكهّن بأن الحياة ان وجدت ، فسوف تقوم على أساس النموذج الأرضي ، وبالتالي لو أن الحياة على الأرض مفهومة جيدا يمكن التكهّن بحالتها بعيدا عن الأرض . وكل ما هو مطلوب هو توفر بيئة ملائمة للنشاط البيولوجي . وترتهن البيولوجيا الأرضية بحالة علم التوازن المستقر في الديناميكا الحرارية ، الناجمة عن قرب الأرض من مصدر ضخم للاندرويا - وهو الشمس . ويمكن القول بشكل تقريبي عام اننا نعيش في ظل درجة حرارة متذبذبة . ومن الصعب تصور وجود حياة في ظل ظروف مختلفة . والواقع ان المشتغلين بالفلك ما كان لهم أن يروا المادة البعيدة لولا أنها في حالة علم توازن . وقد تحدثنا بإسهاب في الأبواب السابقة عن حالة علم التوازن البالغ التي تظلل الكون كله ، ومن ثم هناك بلا شك تذبذب حراري حول هذه الأماكن البعيدة . علاوة على ذلك هناك مشكلة الاستقرار . فالحياة لا تحتاج علم التوازن فحسب ، وانما تحتاج أيضا زمنا . فلقد استغرق الأمر ثلاثة بلايين سنة لأن تتطور البيولوجيا على الأرض من الرواسب الطينية الأولى حتى الجنس البشرى . وتمثل هذه المدة نسبة كبيرة من عمر الشمس . ومن شأن أي تغير طفيف في شدة انشعاع الشمس أن يأتي بتبعات رهيبة على الميزان البيئي الدقيق الذي تقوم عليه أكثر صور الحياة الأرضية تعقيدا . ويفيد علم الفلك الحديث بأن الشمس تمه في حالة استقرار فائق . ورغم أن مطلبنا الحيوي من الشمس هو علم التوازن الذي تحدثه في المحيط حولها نتيجة تدفق كميات هائلة من الاشعاعات منها ، فان هذا التدفق لا يمثل أي خلل يذكر في بنيتها الداخلية . وتستغرق رحلة الفوتون من الضوء الشمسي في المتوسط ثمانى دقائق لتصل من سطح الشمس الى الأرض . إما انتقاله من جوف الشمس الى سطحها فهو يمتد الى مائة ألف سنة ! ان ذلك يعنى أن علم التوازن في الديناميكا الحرارية في المحيط الشمسي ، لا يمثل بالنسبة للشمس سوى تسرب كمية بالغة الضالة من الطاقة من سطحها . ليس هناك اذن تعارض بين علم التوازن في الديناميكا الحرارية والاستقرار طويل الأجل . صحيح أن النجوم تمر قرب نهاية عمرها بمراحل من

النشاط العنيف وعدم الاستقرار ، ولكن هناك نسبة كبيرة من النجوم ، مثل الشمس ، ظلت تشع بانتظام لبلايين السنين وكلها تصلح اذن للبقاء على الحياة من حولها .

وعلاوة على مطلب الديناميكا الحرارية ، لابد من وجود مواد خام اساسية لقيام الحياة . ويضاف الى ذلك أن العمليات الكيميائية الدقيقة اللازمة لبدا التجمع التلقائي للجزيئات العضوية بالغة التعقيد ، قد تفرض قيودا صارمة على نوع البيئة الملائمة للبيولوجيا . وقد شهدت سنوات ما بعد الحرب تقدما كبيرا في فهم الظروف الفيزيائية والكيميائية التي تتكون الحياة في ظلها . ففي عام ١٩٥٣ جرت في معامل جامعة شيكاغو تجربة مدهشة، حيث عمل ستانلي ميلر (Stanley Miller) وهارولد أوري Harold Urey على محاكاة الظروف التي يعتقد انها كانت سائدة على الأرض قبل ثلاثة أو أربعة بلايين سنة . واستمرت التجربة بضعة أيام تمكن في نهايتها الباحثان من الحصول على كميات كبيرة من الجزيئات العضوية المهمة . ورغم أن ما تحقق من نتائج يبعد كثيرا عن تكوين مادة حية ، فإن هذه التجربة ، وما تلاها ، شكل منحا لجبهة النضال المدافعة عن الرأي القائل بأنه لو توافرت مجموعة كبيرة من الظروف، فسوف تتكون سريعا كميات كبيرة من كتل البناء الجزيئي التي تسبق نشأة الحياة . وتكمن أهمية هذا الاكتشاف في أن كافة صور الحياة الأرضية ، من البكتيريا الى الانسان ، تتكون من تآلفات بين عدد صغير من مثل هذه الكتل . وقد يكون من العسير ترتيب تجربة مصلية ترمي الى أن تتكون تلقائيا ولو أدنى صورة من صور الحياة على مدى أسبوع أو حتى عقد من الزمان ، ولكن العديد من علماء الكيمياء الحيوية يعتقدون بدرجة تقترب من اليقين أن التجربة لو امتدت لبلايين السنين فسوف يتحقق مثل هذا الحدث .

وثمة رأى يقول ان المرحلة الانتقالية من كتل البناء الجامدة الى أول شيء حى قابل للتكاثر ذاتيا ، تفوق كثيرا في تبعاتها البيولوجية كل مراحل التطور التالية من الكائنات الحية البدائية الأولى وحتى كل صور الحياة المعقدة التي نعلم الآن سطح الأرض . وتمتد الخطوة الأولى هي أضعف حلقة في السلسلة ومازال حال هذه الخطوة بعيدا تماما عن الوضع النهائي . ومع ذلك ، فلو تسهلنا مؤقتا بما يشعر به علماء الكيمياء الحيوية من تفاؤل ، سوف نخلص الى أن معظم النجوم المماثلة بصفة عامة لشمسنا ، لو أن لها من الكواكب ما يتسم بنفس الطابع العام للأرض ، فسيكون من شأنها أن تنشأ عليها الحياة . وما يبعث على الأسف انه ليس ثمة وسيلة للتحقق من وجود كواكب مثل الأرض ، خارج المجموعة الشمسية . بل ان الأرض ذاتها لا يمكن رصدها من أقرب نجم باستخدام تلسكوب ذى

قدرة معقولة ، بسبب ضالة حجمها ، والمكس صحيح ، حيث لا تتبع تلسكوباتنا الأرضية رؤية شيء من الكواكب الصغيرة الموجودة في المجموعات الشمسية الأخرى . وعلى أية حال ، فإن مجموعتنا الشمسية ذاتها تحتوي على كواكب أخرى مماثلة للأرض (المريخ والزهرة) ، وتبرز النظريات المتعلقة بتكون الكواكب الرأي القائل بأن معظم النجوم تدور في فلكها أجسام مماثلة . ولقد اكتشفت أجسام كوكبية مختلفة عن الأرض (أضخم منها كثيرا) حول بعض النجوم القريبة ، ويتكهن بعض البيولوجيين باحتمال قيام حياة في ظل الظروف السائدة هناك والتي تختلف بدرجة كبيرة عن الظروف الأرضية . وتقوم الحياة كما عهدناها على الكربون ، وهي تحتاج على الأرجح كميات كبيرة من المياه ، ولكن من الجائز أن تكون هناك أنواع أخرى من الحياة قائمة على أسس كيميائية مختلفة تماما . وأيا كان الأمر ، فإن مثل هذه التكهّنات لا تشكل في المرحلة الحالية أهمية كبيرة بالنسبة للقضية العامة ، أما بيت القصيدة حاليا فهو هل الحياة ممتدة عبر الكون أم أنها « معجزة » عارضة يختص بها ركننا الضئيل . ولا تسهم الكيمياء الحيوية الخيالية إلا بمقدار ضئيل في تعزيز الاحتمال الأول في مواجهة رجاحة الاحتمال الثاني .

ولعل السمة البارزة في التطورات الأخيرة في فهم الأسس الكيميائية للحياة هي وجهة النظر المتنامية والتي تفيد بأن المادة البيولوجية هي نوع من الحالات الفيزيائية للمادة - الغازية والسائلة والجامدة والبيولوجية - تتكون بشكل طبيعي وتلقائي في ظل ظروف ملائمة . وقد كتب عالم الفلك الأمريكي كارل ساجان Carl Sagan يقول : (إن أصل الحياة على الكواكب الملائمة يبدو مكتوبا في كيمياء الكون » . والحقيقة ، أننا ببساطة لا نعرف حاليا ما هي احتمالات قيام الحياة في أماكن أخرى من الكون ، ولكن ربما لو أطلقنا العنان للخيال بشيء من التفاؤل المشوب بالعذر ، لتصورنا الكواكب المأهولة شيئا عاما في الكون .

ومن هذا المنطلق نشأ علم البيولوجيا الخارجية (exobiology) المختص بدراسة الحياة فيما وراء الأرض . ولا يقوم هذا العلم حتى الآن إلا على كم هائل من النظريات الافتراضية ! وثمة طريقتان تجريبيان أساسيان مطروحان بطبيعة الحال بهدف اكتشاف أية حياة خارج الأرض . وتشمل الرحلات الفضائية المباشرة الأسلوب الأقوم في هذا المجال غير أنها تمت بصفة عامة أضعف أملا . ولقد كان من شأن النجاح المبهز لبرامج الفضاء أن فجر اهتماما كبيرا بإمكان القيام برحلات إلى عوالم أخرى ، بل وبالأمل في مصادفة صور أخرى للحياة . ولا شك أننا لو اقتصرنا على

مجموعتنا الشمسية ذات الكواكب التسعة ، فمن المنطقي أن نفترض أن تكنولوجيا المستقبل سوف تتيح تحقيق هذا الاحتمال . صحيح ان احتمال مصادفة صور للحياة على هذه الكواكب الشقيقة ضئيل ولكنه ليس مستحيلا . واذا كانت المعلومات المتوافرة عن الظروف المحيطة بالمريخ (وربما الزهرة أيضا) لا تشجع على التكهن بوجود حياة عليهما ، فهي لا تتعارض معها كذلك . بل ان من العلماء من يرجح وجود كائنات حية بدائية تماما على واحد على الأقل من الكوكبين ، ولا شك أن مجرد العثور على بكتيريا واحدة على المريخ ليستحق ألف تكهن . انه سيكون بحق اكتشافا عميق الأثر في منظورنا المتطور باستمرار للكون .

وعلى أية حال ، فإذا لم تكتشف حياة خارجية في المجموعة الشمسية ، فلن تكون المسألة مجرد بناء صواريخ أكبر واقدر لتنتقل صوب النجوم ، فأقرب نجم يقع على بعد $\frac{1}{4}$ سنة ضوئية (ونشير على سبيل المقارنة الى أن القمر يبعد عن الأرض بمسافة $\frac{1}{4}$ ثانية ضوئية) ، وبالتالي فإن الرحلة اليه ، بالسرعة الصاروخية المتاحة حاليا ، ستستغرق آلاف السنين . ولا شك أن الأجيال القادمة ستتوفر لها سرعات أكبر . ولو توصل الإنسان الى إنتاج مركبات تقترب من سرعة الضوء فسوف يكون من شأن عامل التمدد الزمني أن يقلل مدة الرحلة ويتيح قطع مسافات تصل الى آلاف السنين الضوئية - عبر المجرة - خلال عمر الانسان الفرد . غير انه نتيجة « لعامل التوأم » الذي تناولناه آنفا ، سيعود الرواد الى الأرض بعد مضي آلاف السنين على انطلاقهم ، وبالتالي سيجلبون المجتمع الذي أوفهم قد اندثر منذ زمن بعيد . وبغض النظر عن المشكلات التقنية التي ستواجه عملية إنتاج ومسانئ نقل فضائية تقترب من سرعة الضوء ، فإن كمية الطاقة المطلوبة لبلوغ مثل هذه السرعة تعد بالغة الضخامة ، حيث يحتاج الامر مليون مليون طن من الوقود لتحقيق ٩٩٪ من سرعة الضوء .

ومن الوازد أن نكتشف في المستقبل آليات دفع جديدة (وقد طرحت بالفعل بعض الأفكار) ولكن ثمة عوامل أساسية توضح أن أية وسيلة نقل فيما بين النجوم - لو أمكن في الأصل إنتاجها - سوف تستنفد قدرا ضخما من موارءنا الأرضية . وقد يقلم الانسان على مثل هذه المغامرة لو كان هناك دافع قوى لذلك ، كان تكون هناك فرصة أكيدة للاتصال بحضارة عاقلة أخرى . ولو كانت هناك مثل هذه الفرصة فسوف تواجه الانسان مشكلة أخرى رهيبه ، وهي أين سيجد هذه الحضارة ؟ . وحتى لو كانت الحياة ظاهرة كونية عامة ، فالى أى مدى تتماثل صور الحياة فى المناطق المختلفة ، لا أحد يستطيع أن يتكهن بذلك الا بشكل خرافى بالغ

علاوة على ذلك فليست هناك طريقة تحظى باتفاق عام ، لاختبار مدى
عمومية الحياة العاقلة فى الكون .

ولو افترضنا من قبيل التفاضل نشأة كائنات عاقلة وتطورها على
أى كوكب تسمح ظروفه بقيام الحياة ، فان التقديرات تفيد بأن عدد
المجتمعات العاقلة فى مجرتنا يناهز عشرة أمثال متوسط عمر هذه المجتمعات
مقاسا بالسنين . وهذا المقدار الأخير ليس معروفا بالطبع ، وهو يرتفع
الى حد ما بما نعينه « بكلمة عاقل » .

وتنسب للمجتمع البشرى حضارة يبلغ عمرها بضعة آلاف من
السنين ، وهو ما يقارب زمن فعلاره من خلال التكنولوجيا . ولو كان هذا
هو المقياس ، وكانت تجربتنا منطقية ، فربما كانت هناك عشرات الآلاف من
الكواكب فى المجرة تحظى بحضارات عاقلة . أما لو قدر عمر المجتمعات
المتحضرة بملايين السنين أو يزيد ، فسوف تكون هناك عشرات أو حتى
مئات الملايين من الكواكب المأهولة فى المجرة .

ويبدو كل ذلك مشيا ، ولكن تظل مسألة الى أين نتجه بنظرنا ،
بلا حل ، فالمجرة تحتوى على مائة بليون نجم وحتى لو كان منها مائة مليون
مهياة لقيام حياة عاقلة عليها ، فالأمر يقتضى أن نخبر آلافا من الكواكب
قبل أن يكون لدينا احتمال معقول للنجاح ، ويستوجب ذلك القيام برحلات
الى كافة النجوم من هذا القبيل والتي تقع فى حدود مسافة مائة سنة
ضوئية من الأرض . يتبدى من ذلك أنه من الصعب مقاومة النتيجة الحتمية
التي تفيد بأن تحقيق اتصال حسي فيما بين الحضارات « الكوكبية » ،
مسألة بالغة الندرة فى الكون . (ومن الطبيعي أن تكون هذه النتيجة
مشوبة بتحفظ وهو أن دوافع الحضارات الغريبة عنا ، والتي قد تكون
متقدمة على حضارتنا بما قد يصل الى ملايين السنين ، ليست معروفة ،
بل وقد لا تكون مفهومة بالنسبة لنا) .

وربما كان وجه الاعتراض الرئيسى على فكرة الرحلات الفضائية
فيما بين النجوم هو عدم وجود أهداف مخططة مباشرة لها . ولقد كانت
الرحلات الاستكشافية الأرضية تجرى دائما اما للاستعمار أو التجارة
أو لغرض اعلامي . ويمكن استبعاد الهدفين الأول والثاني فى حالة الرحلات
الفضائية ، فمن الحماقة أن يفكر أحد فى نقل شعوب بأكملها أو مواد
استهلاكية لمسافات تقاس بالسنين الضوئية . وهذا يعنى ان التبادل
الاعلامى ، فى هذا المجال ، هو أهم هدف يمكن ان تسعى اليه المجتمعات
المتحضرة . ومادام الأمر كذلك فليست ثمة حاجة للانتقال الى النجوم
البعيدة لتحقيق مثل هذا التبادل الاعلامي ، حيث يمكن أن يتحقق ذلك

عن طريق الاتصالات اللاسلكية على سبيل المثال • وما من شيء في الوجود يمكن أن ينتقل أسرع من الموجات الكهرومغناطيسية ، وبالتالي تعد هذه الوسيلة ، من حيث الوقت ، اكثفا أسلوب للاتصال • ومرة أخرى نجد أنفسنا نواجه مسألة الى أين نتجه ببصرنا • وقد تكون نسبة المجتمعات المتحضرة في المجرة ، التي وصلت في تطورها الى امكان الاتصال بالراديو ، ضئيلة ، مما يجعل مسألة تحديد الموقع أكثر صعوبة • غير أن من شأن أى تلسكوب راديو متوسط الحجم أن يمسح الآلاف من مثل هذه المواقع في محاولة لالتقاط رسالة من نوع ما • ويعد التلسكوب الراديو الموجود في اريكيبو في بورتوريكو هو أضخم واحد في العالم ، وتتيح امكانياته الاتصال مع أى جهاز مماثل في المجرة •

وقد جرت في السنوات الأخيرة محاولات لرصد أية اشارات راديو تكون واردة من حضارات قريبة في المجرة ، ولكنها لم تكلل بالنجاح • علاوة على ذلك فقد أرسلت اشارات من الأرض • ورغم أن الفكرة برمتها قد تشكل تبديدا للوقت والمال ، فالأمر يستحق بلا شك بعض الجهد في محاولة تحقيق مثل هذا الاتصال نظرا لأهميته الضخمة • ولكن ينبغي ألا يغيب عن الأذهان أنه حتى بسرعة الضوء فإن موجات الراديو تحتاج مائة عام لكي تصل الى حضارة تبعد بمقدار مائة سنة ضوئية • وهنا يعنى أننا لن نتلقى إجابة ، بغض النظر عن احتمالات الضياع ، قبل مائتي سنة على الأقل •

ولما كان الانسان قد بدأ بالفعل في محاولة تحقيق مثل هذا الاتصال ، فلا بد من مراعاة شيء ، وهو انه لو كان هناك احتمال للنجاح ، فهو يعزى الى أن متوسط عمر الحضارات التقنية يبلغ ملايين السنين • وبما أن مجتمعنا التكنولوجي لا يرجع الا لبضعة عقود ، فسوف يكون « أصبى » واحد من بين مثل هذه المجتمعات في المجرة ، وبالتالي فأى مجتمع سيبحث ردا سيكون من شأنه أن يتفوق علينا ، بدرجة تتجاوز القارئة بل وربما الفهم والادراك ، سواء من حيث التطور العلمى أو الثقافي أو الأخلاقى • ولا شك أن المنتج الأكثر ذكاء في مجتمعهم قد لا يكون بيولوجيا بالمرّة بل سيكون على الأرجح ذكاء ميكانيكيا آليا •

وقد تتسبب المعرفة المستمدة من المستقبل العلمى فى إلحاق المزيد من الضرر بالحياة الأرضية ، ولكن حضارة يبلغ عمرها مليون سنة لابد أنها عملت على حل المشكلات الاجتماعية الخاصة بها • وربما وردت إلينا فقط معلومات بشأن تكنولوجيا جديدة ، وقد تسبقها معلومات بخصوص إقامة مجتمع جديد •

ويعت على الدهشة أن عشر سنوات من دراسة الفلك باستخدام الراديو علمت البشرية عن مسائل الخلق وتنظيم الكون أكثر مما أفادت به آلاف السنين من الدين والفلسفة . وقد يكون مفيدا أن ندرس كيف ساهم التقدم الحديث في علم الفلك والفيزياء والكونيات في التعرف على الصورة العلمية للجنس البشرى في الكون ، ومقارنة هذه الصورة بالمعتقدات الدينية التقليدية .

وتتمثل نظرة الانسان التقليدية للكون في انه خلق لأغراض معينة ، فكل شيء مرتب على نحو ما هو عليه من أجل راحة الانسان وملاحة الحياة البشرية . فهناك كثرة من المياه للشرب ومن الهواء للتنفس . وهناك الغلاف الجوى يمتص الاشعاعات الضارة الواردة من الفضاء . أما الشمس فهي ترسل الضوء وتبعث الدفء نهارا ثم تغيب عنا لنخلد الى النوم ليلا ، وهي تشع بالقدر الذى يهين درجة حرارة تجعل الحياة مريحة ، وكل ذلك فى إطار من الاستقرار . صحيح أن بعض الكوارث الطبيعية تحدث بين الحين والحين ، ولكن ليس فى انجلترا ! اليس كل ذلك جميلا بدرجة لا تصدق ؟

وان لم تكن الصعوبة بمكان أن نحدد كم هو دقيق ميزان الحياة على الصعيدين الفيزيائى والكيميائى . ولقد نشأت الحياة وتطورت على هذا الكوكب ومن ثم فقد تأقلمت مع الظروف السائدة . وإذا كان العالم قد خلق على النحو الذى يختم راحتنا . فنحن أيضا قد خلقنا بشكل يتلاءم معه . ولا أحد يوسعه أن يقطع بمدى ما يمكن أن يطرا من تغير على الترتيبات الكونية قبل أن تصبح كافة صور الحياة مستحيلة . وكثيرا ما يتروى أن أية تغيرات طفيفة فى عدد محدود من النوايت الطبيعية ، مثل شدة قوى التماسك الذرى ، من شأنها أن تؤدى الى تغيرات رهيبه فى ظروف الكون . فلو أن قوى التماسك الذرى هذه زادت بنسبة طفيفة لا تتجاوز آحادا قليلة فى المائة لكان من شأن الهيدروجين - وهو وقود الشمس وأهم عنصر لبقاء الحيا على الأرض - أن يتحد سريعا ويتحول كله الى هليوم فى إطار انفجار عظيم . غير أنه نظرا لعدم توافر المعلومات الكافية والملائمة بشأن مسلك المادة الحية فى ظل عدد كبير ومتنوع من الظروف ، لابد من توخى الحذر فى تقرير الاستنتاجات النهائية بشأن مدى ما يمكن أن تنسم به البيولوجيا من قلقلة وعدم استقرار فى هذا الكون .

وهناك رأيان متعارضان فيما يخص وجودنا : الأول هو أن الكون قد خلق بطريقة خاصة جداً تتيح تطور الحياة والجنس البشرى . أما الثانى فهو أن الأشياء لو كانت على غير ما هى عليه لما كان لنا وجود من الأصل . غير أن الرايين يتماشيان مع القول بأن وجود الحياة « يقيد » الكون بضرورة أن تكون له سمات معينة بدرجات متفاوتة . ومن وقت لآخر يخرج علينا بعض العلماء ويصفون وجودنا ذاته بأنه « اتساق » مع سمات معينة فى الكون .

ولعلنا ، كمثال أول على هذا المنطق ، نذكر بأن محتويات هذا الكتاب تناولت بإسهاب طبوغرافيا الكون وبنيتة الهندسية وعدم التناظر فيه ، ولكن لم يذكر شئ عن حجمه . ومن شأن ضخامة الكون العظيمة أن تنير الرهبة . فهناك بلايين من النجوم المنتشرة فى الفضاء وتفصل بينها مسافات شاسعة تقاس بالسنين الضوئية ، وتتجمع هذه النجوم على هيئة مجرات مستقلة متباعدة عن بعضها بلايين السنين الضوئية . وقد يساعدنا على تصور المقاييس أن نتخيل أن مدار الأرض حول الشمس ، الذى يناهز قطره ٣٠٠ مليون كم ، قد تقلص الى حجم قطعة الصلة المعدنية الصغيرة وفى مركزها بقعة ضئيلة تمثل الشمس . وبالنسبة والتناسب سوف يقع اقرب نجم على بعد كيلو مترين . أما المجرة فسوف تكون كبيرة بدرجة أن تغطى سطح الأرض . وسوف تقع مجرة أندروميديا - وهى المجرة الوحيدة التى يمكن بالكاد ان ترى بالعين المجردة من الأرض - على بعد نصف مليون كم ، أى نحو مكان القمر . وفيما يتعلق بأبعد المجرات التى ترصدها أقوى التلسكوبات على الأرض ، فسوف تصل مسافتها الى بليون كم . وقد ذكرنا أن كثافة الكون تعد بالغة الضالة ولا تزيد فى المتوسط عن ذرة واحدة لكل ألف لتر من الفضاء . ولو أن كل المادة فى الكون تركزت فى فقاعات بكثافة الماء فسوف يصل حجم ما تحتله هذه الفقاعات الى ١٠ - ٢٨ من ١٪ من الفضاء المتاح !

فلماذا يتسم الكون بكل هذه الضخامة ؟

ولعلنا نتذكر فى البداية أن الكون ليس ثابتا على هذا الحال ، بل انه يتمدد . وهناك دلالات قوية على انه كان فى الماضى فى حالة كثيفة للغاية . ويعد التمدد ضروريا ليحول دون سقوطه الى داخل ذاته ليؤزل الى نقطة الغدادة . ويتباطأ تمدد الكون (على الأرجح) على مهل وبمعدل يرتفع بكثافة المادة التى تبعث على تناقصه . أى لو كان الكون أكثر كثافة لجرى التباطؤ بشكل أسرع كثيرا .

وهذا يعنى أن قيمة الكثافة الحالية للنجوم حسبها تقدرها ، مرتبطة بعمر الكون . وليس هناك من بين نماذج فريدمان للكون - التى وصفناها فى الباب الخامس - نموذج بسيط يتيح على سبيل المثال وجود نجوم قريبة من بعضها لا يفصل بينها سوى بضعة أيام ضوئية فى كون يصل عمره الى عشرة بلايين سنة .

وهنا تبحث البيولوجيا . . ويحتاج التطور البيولوجى بلايين السنين فى الواقع لكن يصل فى النهاية الى الكائنات العاقلة (الانسان) . فالتطور هو عملية تدريجية بالغة البطء وتتضمن سلسلة ضخمة من البدايات الفاشلة ، وهى ترتفع بعد فائق من الحوادث الدقيقة التى تتوالى وتنتقل من جيل لآخر .

ومن ناحية أخرى ، تقوم الحياة على الأرض (وأية حياة أخرى على الأرجح) على الكربون . وقد تكون هذا الكربون نتيجة اتحاد عناصر أخف فى النجوم الثقيلة منذ بضعة بلايين من السنين . ويستغرق الأمر ملايين السنين لكى تنشأ النجوم ويتكون الكربون بداخلها ، ثم تنفجر . ومن ثم لو كان عمر الكون أقل كثيرا من بلايين السنين لما كنا خلقنا بعد لثراء . الكون اذن على هذه الدرجة من الضخامة لأنه على هذه الدرجة من القدم . وهذا يعنى أن وجودنا ذاته يقتضى أن تكون النجوم على هذه الدرجة من التباعد الشاسع . وأنه ليبعث على السخرية أن الظروف اللازمة لنشأة الحياة العاقلة ، تعد هى ذاتها المسئولة عن الحيلولة دون وجود اتصال حسى بين هذه العوالم !عاقلة .

وهناك برهان آخر على مدى ضخامة الأرض ، وهو هذه الأعداد الفاتحة من النجوم فى السماء . فبنظرة خاطفة الى ليل السماء يخال للمرء أن هناك الملايين من النجوم ، غير أن ذلك انطباع خاطئ ، حيث لا يمكن لشخص متوسط فى قوة ابصاره أن يحصر أكثر من بضعة آلاف نجم على أقصى تقدير . أما باستخدام التلسكوبات البصرية العادية ، فيمكن رصد بلايين البلايين من هذه النجوم . ولو جمعنا نظريا عدد الذرات فى كل منها لوصل الى رقم يفوق الإدراك ويقدر بنحو 10^{80} . فلماذا هذه الضخامة ؟

ويثير حجم الكون فى هذا السياق : بعض الحيرة . ففى نماذج فريدمان المتشعبة أديا لا حدود لحجم الكون ، الأمر الذى يستوجب وجود عدد غير محدود من النجوم المستمرة فى انتشارها للخارج بشكل مستمر وفى كافة الاتجاهات . غير أنه ليست هناك وسيلة بصرية تمكننا من رؤية

كل هذه النجوم . وحتى لو كنا نعيش في كون من نوع النموذج المعاد للاندكاش ، والذي يتسم بحجم محدد ، لما كان في وسعنا في هذا الوقت أن نرى الا جزءا من هذا الحجم مهما كانت قدرة التلسكوبات المستخدمة . ويرجع السبب في ذلك الى أن أقصى مسافة يمكن أن يراها المرء في كون يبلغ عمره عشرة بلايين سنة ، هي عشرة بلايين سنة ضوئية ، لأن حد الابصار يقف عند الحدث الأفق على نحو ما ذكرنا في القسم (٥ - ٣) ، والحدث الأفق يعتمد على سرعة الضوء ، إذن كلما كان الكون أقدم كان الحدث الأفق أبعد . وهذا يعني أن العدد الفائق من النجوم في الكون يعزى الى المسافة الكبيرة التي يبعد بها الحدث الأفق ، والتي ترتفع بدورها بعمر الكون .

وهناك سؤال أساسي آخر مشابه للسؤال السابق وهو : « لماذا يبدو الكون مظلماً ؟ » وقد أجيب على هذا السؤال في الباب الخامس في سياق مناقشة تناقض (أولبرز) . غير أن ما ذكر لا يمثل في الواقع القصة كلها ، لأن الكلام كان مقصوداً على الضوء النجمي . وقد بدأ الكون بانفجار ملتهب ثم أخذت درجة حرارته في الانخفاض منذ ذلك الحين بسبب التمدد الى أن وصلت الى ثلاث درجات أو نحو ذلك ، فوق الصفر المطلق . السماء إذن ليست في حالة ظلام تام ، ولكنها تشع ضوءاً بالغ الضعف يأتي مكانه في أقصى نطاق الأشعة تحت الحمراء في التوزيع الطيفي . وتستخدم تلسكوبات راديو خاصة لرصد هذا « البريق الفضائي » الابتدائي . وقد يبدو انه ليس ثمة ما يبرر لماذا لم تكن درجة الحرارة ٣٠٠ درجة مطلقة (أى درجة الحرارة العادية) بدلاً من ثلاث درجات ؟ وعلى أية حال ، لو كان الأمر كذلك لما كان لنا وجود . ويعزى ذلك للسببين الآتيين : أولاً ، ان هذه الدرجة قريبة من تلك السائدة على الأرض ، ولا مجال لتولد عدم التوازن في الديناميكا الحرارية ، وهو الشرط الضروري لقيام الحياة ، الا على كوكب تزيد حرارته كثيراً على حرارة الكون بما يتيح تبخر المياه فيه . ولما كانت المياه تعد هي الأخرى ضرورة حيوية ، فلا شك أن ثمة مشكلة ما . ثانياً ، وأهم من ذلك ان مثل هذا المستوى العالي من الاشعاع من شأنه أن يمنع تكون المجرات ، وذلك عن طريق « الهيمنة » على المادة بواسطة قوة جاذبيته . وما كان للحياة أن تقوم بدون المجرات .

وقد جرت محاولات عديدة أخرى للوقوف على احتمالات التوافق بين الحياة العاقلة والسمات الرئيسية للكون . فقد طرح عالم الرياضيات البريطاني براندون كارتير Brandon Carter السؤال التالي « لماذا تعد الجاذبية على هذه الدرجة من الضعف ؟ » . ولعلنا نتذكر أن الجاذبية ، التي تقل في شدتها عن القوى الكهربائية في الذرة بنسبة ١٠^{٤٠} ، هي التي

تتحكم في حركة الكون . وقد أثبت كارتر ، بعد أن درس تطور النجوم ، أن هذه النسبة تحدد عمر النجوم ، وأن النجوم القديمة المستقرة تعه شرطاً أساسياً لقيام الحياة العاقلة .

وعلى صعيد آخر تناول ستيفن هوكينج وباري كولينز واحدة من أكثر المسائل غموضاً وأعصاها على الحل وهي « لماذا يتسم الكون بهذه الدرجة من التوحيد في الخصائص » . وقد نوقشت هذه المسألة بطرق عديدة وأشارنا إليها بإيجاز في القسم (٥ - ٥) . ويرى هوكينج وكولينز أنه لا مجال لأن تنشأ المجرات وتتطور إلا في كون يتسم بمثل هذا التوحيد في خصائصه . ويقوم هذا الرأي على دراسة للظروف الأولية على المستوى الواسع لحركة الكون ، واللازمة لاستتباب التوحيد في الظواهر التالية .

وكمثال أخير .٠٠ فقد سبق أن أوضحنا ضرورة توافر علم التوازن في الديناميكا الحرارية في الكون كشرط لوجود الحياة . ويعد علم التناظر الزمني في العالم ، وهو السمة الجلية في الحياة اليومية ، عاملاً أساسياً لا غنى عنه لهذه الحياة .

ولا جدال أن هذه المناقشة تغطي القائمة التي يمكن حصرها ، لهذه الاعتبارات البيوكونية . ومن شأن دراسة أية سمات أساسية أخرى للمكان - الزمان أن تؤدي إلى النتيجة ذاتها . ولعله من المهم أن ندرك أن وجود الحياة العاقلة في الكون لا « يفسر » هذه السمات ، وإنما هو يفيد بأنها لو كانت : نتيجة اختلافاً بينا عما هي عليه ، لما وجد الإنسان . وقد أشرنا في الباب السادس إلى أن بعض علماء الكونيات يرون أنه ليس ثمة كون واحد ، بل العديد منها ، وكل من هذه الأكوان يتسم بمجموعة مختلفة من الظروف وربما من قوانين الفيزياء كذلك . أما السبب في وقوع الاختيار على كون بمثل هذه السمات الخاصة (الضخامة ، وتوحد الخصائص ودرجة الحرارة المنخفضة .٠٠ الخ) ، لنعيش فيه ، فهو أن هذا هو النوع الوحيد الذي يمكن أن يعيش فيه .

وإذا كانت بنية الكون على النطاق الواسع - ونعني حجمه وما تتسم به المادة من توزيع وعلم توازن - تبدو مقيدة بوجود الكوزمولوجيات ، فإن البنية على النطاق الصغير لها وضع معكوس . وتفيد وجهة النظر الدينية التقليدية بأن البنية المحلية ، الأرض وسمات سطحها ، والشمس . . . الخ تشمل تنظيمًا خاصًا للكون وجد مع بدء الخليقة . وعلى النقيض من ذلك يفيد العلم الحديث بأن منظومات النجوم والكواكب على النطاق الصغير قد تكونت بشكل طبيعي وتلقائي من كرة اللهب الأولية . أي أنه إذا كان الرأي الديني يقول بأن نشأة الكون كانت تتضمن هذه البنية منذ اللحظة الأولى يفيد العلم على وجه التحديد بعكس

ذلك • فقد بدأ الكون بتوازن محل مع ترتيب عشوائي للتحركات الدقيقة • وكانت البداية تتسم بحالة من الفوضى • ونتيجة للتعدد الكوني تشكلت تلقائيا من الفوضى بنية منظمة • ولا مجال الا أن تكون الحالة الميكروسكوبية للكون عند نشأته ، عشوائية تماما • ولم تعد ثمة ضرورة لأن يفترض المرء أن تنظيم العالم يحتاج جهة تنظيمية تعمل على خلقه بشكل خاص • فمثل هذا التنظيم يأتي بصورة طبيعية مستمدة من قوانين الفيزياء • ومن تعدد الكون في ظل مجموعة بالغة الضخامة من الظروف الابتدائية الدقيقة •

ومن ثم تشكل الصورة العلمية المستنتجة انقلابا ملفتا • ولم يعد ثمة مجال لأن يعزى طابع البيئة المتأخنة لنا ، بما في ذلك وجودنا ذاته ، الى أحداث محلية خارقة بينما لا تتماشى معها بنية الكون على النطاق الواسع ، وإنما يبدو الآن أن الكوزمولوجيا هي العامل الأساسي بينما يجرى الوضع المحلي بشكل تلقائي • وهذا يعني أنه لو توافرت الخصائص الشاملة المناسبة لكون ما ، فسوف يشهد لا محالة تكون النجوم والكواكب ونشأة الحياة والحياة العاقلة •

ولعلنا نقول الآن ردا على السؤال الوارد في عنوان هذا القسم وهو ما مدى خصوصية الكون ، ان الكون يتسم في شموليته بوضع بالغ الخصوصية ولكننا لا نلاحظ هذه الخصوصية على المستوى المحلي •

وقد تكون هذه النتيجة المتناقضة مع المذاهب العقائدية ، بفيضة الى نفس القارى • الذى ينبغي أن يرجع الفضل في وجوده الى توزيع المادة والاشعاعات المنبعثة من المناطق البعيدة في الأوقات المبكرة من عمر الكون ، بدلا من الاعتقاد في أن كوكب الأرض قد خلق خصيصا لخدمة حياته • وبفض النظر عن مدى عمومية الحياة كظاهرة كونية ، سنجد من خلال هذا المنظور أن ظهور الجنس البشرى في الكون انما هو حدث كوني •

لقد ابتعد العلم كثيرا عن المفهوم التوراتى لنشأة الكون • فالتوراة تقول ان الضوء والدفع، التنظيم والحياة ، كلها ظواهر انبثقت من الظلام والعدم ، وان الكون عمل من صنع الله تلبية لتحريض مسبق لبناء كيان في مكان وزمان موجودين من قبل ولكن بلا أهمية • أما المفهوم العلمى الحديث فهو على النقيض من ذلك تماما ، حيث يفيد بأن الكون بدأ بضوء مبهز وحرارة لافحة ثم انخفضت حرارته وحل فيه الظلام • وإزاء النص التوراتى القائل « فليحل الضوء » جاء الرد العلمى بقول « فليحل الظلام » وذلك لأنه لا مجال للاستفادة من الطاقة الكامنة في الشمس من أجل

قيام الحياة على الأرض ، الا في ظل كون مظلم وبارد . علاوة على ذلك ، فان المكان والزمان ذاتهما يعتبرهما علماء الفيزياء اثنين من الكيانات الطبيعية . وتوضح نظرية اينشتاين للنسبية العامة كيف ان حدثي ظهور المادة وتبددهما الانفجارين يجريان على « حافة » المكان - الزمان . واذا كان الكون قد نشأ منذ عشرة بلايين سنة بالفعل ، وليس منذ زمن غير محدود ، فهذا يعنى أن المكان - الزمان قد بعث أيضا الى الوجود في التوقيت ذاته . وتعد الفجأة الأولى بالفعل حدثا بلا سبب مسبق حيث لم يكن هناك قبلها مكان أو زمان - أو أى شئ ماضى على الإطلاق - ليحتوى هذا السبب . وأن يتخيل المرء وجود الله في مرحلة تسبق نشأة الكون ، وأن يكون هناك ما يحرضه على صنع الكون ، فهو شئ مضلل وناتج عن خلج الصفات البشرية على الآلهة . ولا تحتاج المفاهيم من قبيل « السبب » و « التأثير » مجرد وجود « زمان » تعمل من خلاله فحسب ، وانما تحتاج أيضا وجود علم تناظر زمني ، غير أن الزمان ، وبصفة خاصة سنة علم التناظر ، هما من خصائص العالم المادى ولا معنى لهما الا من بعد نشأته . بل ومن بعد نشأته بفترة طويلة ، بعد ما تكون حالة التوازن الأولية قد تبددت نتيجة التمدد الكونى .

ولقد شهد التاريخ تطورا في المحاولات البشرية الرامية الى ايجاد قوى خارقة تبرر بها خصائص الظواهر الطبيعية . وليست هناك اسباب واضحة لهذه المحاولات . وقد تصورت المجتمعات البدائية ، التي لم تكن لها معرفة بالعلوم الفيزيائية ، وجود آلهة من شتى الأنواع . كل منهم يقدره معينة ، فمنهم من يجلب المطر ومنهم من يسبب الفيضانات ومنهم المسئول عن الضوء وهلم جرا . وكان الناس يسمون هؤلاء الآلهة الأوائل بالصفات البشرية ، حيث كان يعتقد ان لهم أجساما مادية يشبهون بها الانسان بينما لا تختلف قدراتهم العقلية ودوافعهم كثيرا عما يتصف به الأطفال . وكثيرا ما كان الآلهة يتخذ في ذهن الناس صورة المقاتل الخارق المشترك في النزاعات القائمة بين القبائل المحلية .

ومع تطور العلوم الفيزيائية ويزوغ عصر النهضة بدأت هذه الاعتقادات تنقش تدريجيا من مجالات الفيزياء والفلك ، وبدأت فكرة وجود كائن له جسم انسان ويتسم بقوة خارقة ، تتوارى في عالم النسيان، حتى ان اللاهوتى البريطانى جون روبنسون عبر عن ذلك بقوله ان الآلهة « الذى فوق » صار الآلهة « الذى كان » . ولم يترك علم الفلك مجالاً لأية قوة مادية خارقة في السماء . وبدأت تظهر وترعوى فكرة جديدة عن الآلهة بوصفه كيانا غير فيزيائى يتجاوز العالم المادى .

ورغم النجاحات المتلاحقة التى حققتها العلوم الفيزيائية فى تفسير الظواهر الطبيعية جون الحاجة لوجود مسببات خارقة ، ظل الجدل بالنظم البيولوجية والاجتماعية يفسح المجال لتصوير وجود خوارق فى هذا الميدان ، فقد لا يكون الوجود الالهى ضروريا لتفسير حركة الكواكب ولكن مازال هذا الوجود حتميا عند التفكير فى نشأة الحياة . وجاءت ثورة داروين فأرجعت الوجود الالهى الى الورا بمقدار ثلاثة بلايين سنة ، تماما مثلما جاءت الثورة الفلكية وأخرجته تماما من حيز المكان . فالجنس البشرى ليس بمعجزة وانما هو نتاج عملية تطور - بدأت بحدث عارض بحث - واستمرت على مدى عصور جرت فيها سلسلة من تهيشة وتكيف الكائنات الحية البسيطة . وتعد المساعي التدريجية لحلل لغز الأساس الكيميائى والفيزيائى للحياة خطوة أخرى حتمية فى سبيل تفسير العالم المادى الحي وفقا للمبادئ العلمية . ورغم أن التجارب المصطنعة لا تتوفر لها ملايين السنين اللازمة لتخليق مادة حية حقيقية من العناصر غير الحية ، فقد أمكن انتاج كتل بناء الحياة وفصل كائنات حية بسيطة داخل هذه الكتل . ولم تعد اذن عملية خلق الحياة شيئا غامضا . وبذلك ننتقل الى الخطوة التالية وهى وجود اله وراء الحياة . ويناصر البعض رأيا يقول ان فهم الانسان للتنظيم الاجتماعى والأخلاقى من شأنه أن يبعد الاله تماما عن الشئون الدنيوية للانسان .

ومن ثم، فإن العودة بالتفكير الى الورا ، وتصوير ارتهان نشأة الكون بصنيع الله فقط لهو تصور يائس . فلقد أدت أنانية الانسان المتجلية فى اخفاء الصفات البشرية على الآلهة ، الى توالى استبعاد مثل هذا الوجود الالهى من وراء كل شيء له علاقة بالعالم المادى . وان ارجاع نشأة الكون - حتى لو كانت هناك واحدة - الى صنيع لله ، لهو بمثابة سقوط فى نفس شرك تصور وجود اله للمادة واله للحياة . وما ذلك الا عودة الى الياس الاله وضع الانسان ، وليس ذلك فحسب ، بل هو وضع الانسان الموجود فى العالم الفى ابتدعه ، بما يتسم به من عدم تناظر زمنى وترتيب زمنى للسبب والمصحب .

ولقد أكدنا مرارا فى هذا الكتاب على مدى أهمية الزمان المادى بما يضيفه من معنى لمفهوماتنا الشامل للانسان والكون . وعن شأن التمييز بين الماضى والمستقبل أن يتخلل كيائنا كله . فنحن ننظر الى الماضى بشئ من الحنين أو الندم بينما نتطلع الى المستقبل بشئ من الخوف أو الأمل . وكل تصرفات الانسان محكومة بخبرة الماضى وتوقعات المستقبل . وب نفس الطريقة ، تعد مسألة التسبب من نتاج عدم التناظر الزمنى . ومن هذا

المنطلق فان خلق صفة التسبب على الله في غياب عدم التناظر الزمني أو حتى عدم وجود المكان أو الزمان أو المادة ، لهو بمثابة اضافة صفات بشرية على الذات الالهية . ولقد أكدنا أننا أن عملية انشاء الكون لا يمكن أن يكون ورامها سبب مسبق ، فذلك يمثل تناقضا منطقيا . ويقودنا ذلك الى مفهوم أكثر تطرفا وهو الاله الذي يتجاوز المكان - الزمان .

وهل يمكن عزو عملية الخلق الى أحداث تجري بعد نشأته ، على غرار التأثيرات المتتمة التي تتحدث عنها نظرية ويلر - فينمان ؟ وماذا اذن عن الأكوان ذات التناظر الزمني مثل تلك التي تعاود الانقباض صوب « نشأة سالبة أو معكوسة » ، أو صوب الغناء . كيف يمكن أن يأتي الطرفان الزمانيان ، البداية والنهاية ، « بسبب » ما يجري بينهما ؟

وربما كان أفضل رد على هذه الأسئلة هو عدم الاعتراف بعلاقة كل من السبب والتأثير بالموضوع ، كهما في المقام الأول مفهومان بشريان يخدمان أوضاع الانسان ، وهما يستخدمان ، على أحسن تقدير ، في العالم الفيزيائي لوصف التفاعلات ذات الاتجاه الزمني الواحد بصيغة اضمحلال التنظيم ، الذي يعد في حد ذاته مفهوما بشريا بحثا على نحو ما أشرنا .

وقد يكون من الأفضل كثيرا أن نعتبر الكون ظاهرة شاملة : أو ببساطة عالم الرياضيات الألماني هرمان ويل Herman Weyl (١٨٨٥ - ١٩٥٥) « العالم لا يحدث ، وانما هو ببساطة موجود » . ولا يحتاج الأمر أن تكون للعالم بداية ، لتفسير المجريات فيه في طريق مرسوم بدقة صوب نهاية غير معلومة . ويعد العالم على الأصح بمثابة مكان - زمان ، مادة وتفاعلات ، في اطار امتداد من الماضي الى المستقبل ومن موقع الى موقع ومن حدث الى حدث في شبكة شاسعة من التعقيد والوجود .

٧ - ٤ العقل والكون

وقد يبحث المنظور الكوني على الرهبة والاستنارة ولكنه ليس بمنظور الجنس البشري . فالانسان ينظر الى الكون من حوله ويسمى الى الفهم والتفسير والتبرير . وعلى خلاف وضوح الاله الذي يتجاوز المكان - الزمان ، يعد الانسان جزءا من المكان - الزمان . ومن هذا المنطلق ، لا يتوافق ما ناقشناه في هذا الكتاب من نظريات متعلقة بالكون مع المداك العالية للجنس البشري . ويعزى ذلك الى أن البشر لا يرون « الظاهرة في شموليتها » وانما يرون الكون من خلال نافذة صغيرة هي نافذة العقل البشري .

ان الصورة التي نراها من خلال هذه النافذة تشبه « الفيلم السينمائي » .. انها بمثابة شريط يجرى، ويبدو العالم مليئا بالنشاط .
لماذا ؟

ان الأشياء تحدث لأن الزمن « يجرى » . وبإجل هناك قول أكثر بداهة من ذلك ؟ ومع ذلك فكم هو غير مفهوم ! كيف يجرى الزمن ؟ والزمان هو جزء من المكان - الزمان ، فما هو الشيء الذي يجرى فيه الزمان ؟ وبأية سرعة هو يجرى ؟ أسرع يوم في اليوم ؟!

وكم يكتسب الانطباع بوجود زمان يجرى ويتدفق ويمر - زمان يجرى فيه النشاط في اتجاه واحد ، من أهمية بالنسبة لكافة الممارسات والخبرات حتى انه يتخلل جميع مناحي المجتمع . وكم هي شديدة المقاومة لفكرة نپذير مرور الوقت كشيء وهمي ! .

ويتخذ الاحساس البشري بالزمان عدة مستويات تتجاوز الزمان الفيزيائي . فالفيزياء تميز بين الماضي والمستقبل بينما يفرق العقل بين الماضي « والحاضر » والمستقبل ، واننا « نتذكر » الماضي . و « نخطط » للمستقبل ولكننا « نتحرك ونعمل » الآن . وتمثل اللحظة الراهنة لحظة تعاملنا مع الكون - ويمكن دالما أن نغير العالم في هذه اللحظة .

ولكن ما هو « الآن » ؟ ليس هناك شيء من هذا القبيل في الفيزياء ، بل انه ليس من الواضح حتى ما اذا كان بوسعنا أن نصف كلمة « الآن » ، ولا نقول نفسرها ، بلغة الفيزياء . ولنفترض على سبيل المثال تجريب ما يلي : لو قلنا ان « الآن » تعبر عن لحظة واحدة من الزمان ، فذلك يثير السؤال التالي : « أية لحظة هي ؟ » والرد هو « كل لحظة » . فكل لحظة من الزمان تصبح « الآن » عندما « تحدث » . غير أن ذلك يمثل الدوران في حلقات مفرغة . ففي وقت تأليف هذا الكتاب كان عام (٢٠٠٠) في المستقبل . ويوما ما سيكون عام (٢٠٠١) في الماضي . ورغم أن هذا العام يعد « الآن » في المستقبل فانه « سيحل » عندما تكون « الآن » هي سنة « ٢٠٠٠ » . ومن ثم فإن نقول ان كل الأزمنة هي « الآن » في حينها ، فهذا مجرد حشو لا معنى له ، وانما هو يصف الزمان ذا الاتجاه الواحد كمجموعة من « الآتات » بدلا من مجموعة من النقاط ، انه مجرد إعادة ترتيب لفظي . وبالتالي فإن المفاهيم من قبيل « الماضي » و « الحاضر » و « المستقبل » انما هي اصطلاحات لقوة أكثر منها علمية .

وفي مقابل هذا الطريق المسدود يمكن للعلم الفيزيائي أن ينجرز تقدما محدودا للغاية في المناقشة الخاصة بكلمة « الآن » . وعلى أية

حال ، فان نظرية النسبية الخاصة تلقى بالفعل بعض الضوء على هذا الموضوع . ولعلنا نسترجع ما ذكرناه فى القسم (٢ - ٢) من أن التزامن شيء نسبي . فليست هناك لحظة واحدة واحدة فى كل نقطة فى المكان . فالأحداث التى تجرى على مسافات مسحية بحيث لا يمكن الربط بينها بإشارات ضوئية لا يمكن أن يخصص لها ترتيب زمنى واحد بالنسبة لجميع المراقبين الموجودين فى حالة حركة . وهذا يعنى أن واحدا من خصائص هذا المفهوم العقل المتمثل فى كلمة « الآن » ، وهو أن كل الناس أينما كانوا يعيشون « آن » واحدة ، هو تقدير استقرائى فى غير محله . فليس هناك « آن » واحدة عامة ، وإنما كل شخص له « هنا » و « آن » . ويوضح ذلك بشدة أننا نعتبر العقل ، ليس العالم الفيزيائى ، هو مصدر تقسيم الزمان الى حاض وحاضر ومستقبل .

ومازال ينبغي علينا أن نؤكد أن « الآن » التى تعرفها مداركنا تبدو « تتحرك » بشكل مطرد من الماضى الى المستقبل . ويعد هذا التحرك . وليس عدم التناظر فى الذاكرة والتكهن ، هو المسئول عن التمييز الذهنى القوى بين الماضى والمستقبل . والانسان بصفة عامة لديه انطباع قوى بالمستقبل « القدام » وبالماضى « المتصرم » ، أما الحاضر فهو الحالة الوحيدة « الموجودة » . ومن ثم هناك نوع من الخلق الذهنى المتصل والمتمثل فى عالم جديد فى كل لحظة . وتعطى علاقة الترابط بين هذه العوالم المتتالية الانطباع بأن كل عالم يتغير الى العالم « التالى » .

ولا يظهر أى شيء من ذلك كله فى الفيزياء . فلم يحدث أن جرت تجربة فيزيائية لرصد مرور الوقت . وما أن يتعلق الأمر بالعالم الموضوعى الحقيقى فان مسألة مرور الوقت تختفى مثل شبح فى الظلام . ولا بد من التسليم بأنه ، اذا لم تستبعد تماما ظاهرة « الآن » المتحركة ، فسيظل هناك شيء غير مفهوم بشأن الزمان أو العقل أو كليهما معا .

ولاشك أن المستقبل (لو كان له وجود) سوف يشهد ، فى اطار الصورة المتنامية لوضع الانسان فى الكون ، اكتشافات مفيدة بشأن المكان والزمان من شأنها أن تفتح آفاقا رحبة جديدة فى مجال العلاقة بين الانسان والعقل والكون .

الفهرس

الصفحة

	الباب الأول:
٩	الأوجه العديدة للمكان والزمان
	الباب الثاني:
٣٩	ثورة النسبية
	الباب الثالث:
٦٩	عدم التناظر بين الماضي والمستقبل
	الباب الرابع:
١٠١	الجاببية وأعوجاج نموذج المكان والزمان
	الباب الخامس:
١٥٩	علم الكونيات الحديث
	الباب السادس:
١٩٣	البداية والنهاية

مطابع الهيئة المصرية العامة للكتاب

رقم الإيداع بدار الكتب ١٨٠٤ / ١٩٩٨

I.S.B.N 977 - 01 - 5839 - 9



ومازال نهر العطاء يتدفق، تتفجر منه ينابيع المعرفة والحكمة من خلال إبداعات رواد النهضة الفكرية المصرية وتواصلهم جيلاً بعد جيل - ومازلنا نتشبه بنور المعرفة حقاً لكل إنسان ومازلت أحلم بكتاب لكل مواطن ومكتبة في كل بيت.

سبّت التجربة المصرية «القراءة للجميع» عن الطوق ودخلت «مكتبة الأسرة» عامها الخامس يشع نورها ليضيء النفوس ويثري الوجدان بكتاب في مقناول الجميع ويشهد العالم للتجربة المصرية بالتألق والجدية وتعمدها هيئة اليونسكو تجربة رائدة تحتذى في كل العالم الثالث، ومازلت أحلم بالمزيد من لآلئ الإبداع الفكري والأدبي والعلمي تترسخ في وجدان أهلى وعشيرتى أبناء وطنى مصر المحروسة، مصر الفن، مصر التاريخ، مصر العلم والفكر والحضارة.

سوزان مبارك

جنيته واحد

مكتبة الأسرة
مهرجان القراءة للجميع
١٩٩٨

Bibliotheca Alexandrina



0535163

